



(43) 国際公開日
2004 年 12 月 9 日 (09.12.2004)

PCT

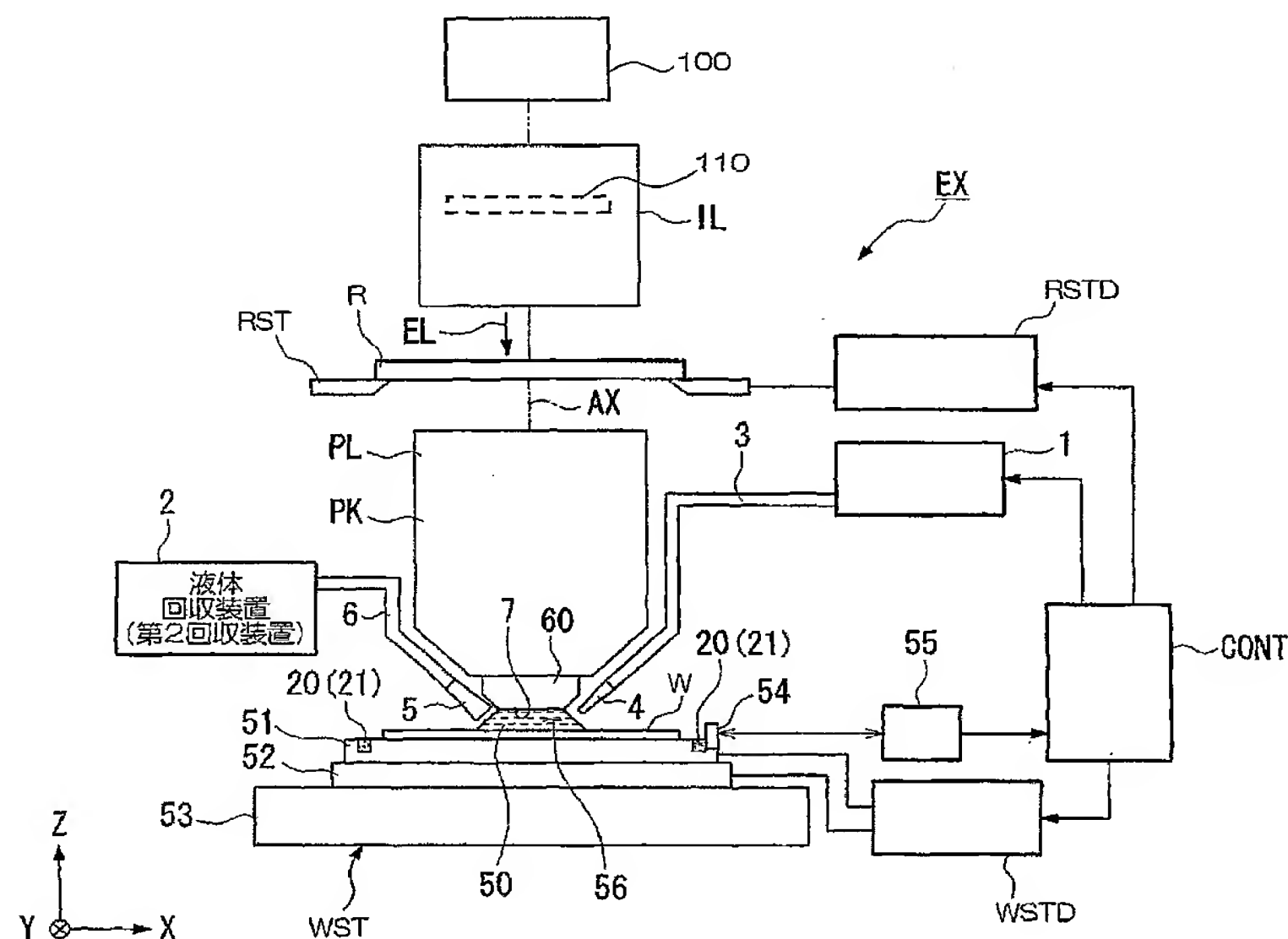
(10) 国際公開番号
WO 2004/107011 A1

- | | | |
|---|-----------------------------|---|
| (51) 国際特許分類 ⁷⁾ : | G02B 17/08, H01L 21/027 | (72) 発明者; および |
| (21) 国際出願番号: | PCT/JP2004/006417 | (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大村 泰弘 (OMURA, Yasuhiro) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 株式会社ニコン内 Tokyo (JP). |
| (22) 国際出願日: | 2004 年5 月6 日 (06.05.2004) | (74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外 (HASEGAWA, Yoshiki et al.); 〒1040061 東京都中央区銀座一丁目10番6号 銀座ファーストビル 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP). |
| (25) 国際出願の言語: | 日本語 | (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW. |
| (26) 国際公開の言語: | 日本語 | |
| (30) 優先権データ: | | |
| 特願2003-128154 | 2003 年5 月6 日 (06.05.2003) | JP |
| 特願2003-350647 | 2003 年10 月9 日 (09.10.2003) | JP |
| 特願 2003-364596 | 2003 年10 月24 日 (24.10.2003) | JP |
| (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 株式会社ニコン (NIKON CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008331 東京都千代田区丸の内三丁目2番3号 Tokyo (JP). | | |

[續葉有]

- (54) Title:** PROJECTION OPTICAL SYSTEM, AND EXPOSURE APPARATUS AND EXPOSURE METHOD

- (54) 発明の名称: 投影光学系、露光装置及び露光方法



2...LIQUID COLLECTOR (SECOND COLLECTOR)

- (57) Abstract:** A projection optical system of reflection/refraction type having an image forming ability thanks to favorable correction of the aberrations such as color aberration and field curvature, having a favorably reduced reflection loss at the reflective surfaces, and having a large effective image-side numerical aperture, so as to form a reduced image of the first surface (R) on the second surface (W). The projection optical system includes at least two reflective mirrors (CM1, CM2) and a border lens (Lb) having a first surface with positive refractive power. The optical path between the border lens (Lb) and the second surface is filled with a medium (Lm) having an index of refraction greater than 1.1. All the transparent members constituting the projection optical system and all the reflective members having a refractive power are arranged along a single optical axis (AX), and the optical system has an effective image-forming region not including the optical axis and having a predetermined shape.

〔続葉有〕



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 国際調査報告書
- 請求の範囲の補正の期限前の公開であり、補正書受領の際には再公開される。

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 色収差や像面湾曲などの諸収差が良好に補正されて優れた結像性能を有し、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効的な像側開口数を確保することのできる比較的小型の投影光学系であって、第1面(R)の縮小像を第2面(W)上に形成する反射屈折型の投影光学系。少なくとも2枚の反射鏡(CM1, CM2)と、第1面側の面が正の屈折力を有する境界レンズ(Lb)とを含み、境界レンズと第2面との間の光路は1.1よりも大きい屈折率を有する媒質(Lm)で満たされている。投影光学系を構成するすべての透過部材および屈折力を有するすべての反射部材は単一の光軸(AX)に沿って配置され、光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有する。

明細書

投影光学系、露光装置及び露光方法

発明の属する技術分野

5 本発明は、反射屈折型の投影光学系、露光装置、および露光方法に関し、特に半導体素子や液晶表示素子などをフォトリソグラフィ工程で製造する際に使用される露光装置に適した高解像の反射屈折型の投影光学系に関する。

背景技術

10 半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程において、マスク（またはレチクル）のパターン像を、投影光学系を介して、フォトレジスト等が塗布されたウェハ（またはガラスプレート等）上に露光する投影露光装置が使用されている。そして、半導体素子等の集積度が向上するにつれて、投影露光装置の投影光学系に要求される解像力（解像度）が益々高まっている。

15 その結果、投影光学系の解像力に対する要求を満足するために、照明光（露光光）の波長 λ を短くするとともに投影光学系の像側開口数 NA を大きくする必要がある。具体的には、投影光学系の解像度は、 $k \cdot \lambda / NA$ （ k はプロセス係数）で表される。また、像側開口数 NA は、投影光学系と像面との間の媒質（通常は空気などの気体）の屈折率を n とし、像面への最大入射角を θ とすると、 $n \cdot \sin \theta$ で表される。

20 この場合、最大入射角 θ を大きくすることにより開口数 NA の増大を図ろうとすると、像面への入射角および投影光学系からの射出角が大きくなり、光学面での反射損失が増大して、大きな実効的な像側開口数を確保することはできない。そこで、投影光学系と像面との間の光路中に屈折率の高い液体のような媒質を満た

25

すことにより開口数 NA の増大を図る技術が知られている。

しかしながら、この技術を通常の屈折型投影光学系に適用すると、色収差を良好に補正することやペッツバル条件を満足して像面湾曲を良好に補正することが難しく、光学系の大型化も避けられないという不都合があった。また、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効的な像側開口数を確保することが困難であるという不都合があった。

本発明は、色収差や像面湾曲などの諸収差が良好に補正されて優れた結像性能を有し、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効的な像側開口数を確保することのできる比較的小型の投影光学系を提供することを第1の目的とする。

また、反射光学部材のみで構成される投影光学系及び屈折光学部材と反射光学部材とを組み合わせで構成される投影光学系は、開口数を大きくした場合に、反射光学部材に入射する光束と反射光学部材により反射される光束の光路分離が困難となり、反射光学部材の大型化、即ち投影光学系の大型化を回避することができない。

製造の簡易化及び光学部材の相互調整の簡易化を図るためには、反射屈折投影光学系を単一光軸で構成することが望ましいが、この場合においても、開口数を大きくした場合には、反射光学部材に入射する光束と反射光学部材により反射される光束の光路分離が困難となり、投影光学系が大型化する。

本発明は、反射屈折型の投影光学系を構成する光学部材を大型化することなく、大きな開口数を得ることを第2の目的とする。

また、本発明は、優れた結像性能を有し且つ大きな実効的な像側開口数ひいては高い解像度を有する投影光学系を介して、微細

なパターンを高精度に転写露光することのできる露光装置および露光方法を提供することを第3の目的とする。

発明の開示

5 上述の第1の目的を達成するために、本発明の第1の態様にかかる投影光学系は、第1面の縮小像を第2面上に形成する反射屈折型の投影光学系であって、

前記投影光学系は、少なくとも2枚の反射鏡と、第1面側の面が正の屈折力を有する境界レンズとを含み、

10 前記投影光学系の光路中の雰囲気屈折率を1とするとき、前記境界レンズと前記第2面との間の光路は1.1よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされ、

前記投影光学系を構成するすべての透過部材および屈折力を有するすべての反射部材は単一の光軸に沿って配置され、

15 前記投影光学系は、前記光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有することを特徴とする。

また、上述の第2の目的を達成するために、本発明の第2の態様にかかる投影光学系は、第1面の像を第2面上に形成する反射屈折型の投影光学系であって、

20 2つのミラーを含み、前記第1面の中間像を形成する第1結像光学系と；

前記中間像を前記第2面に形成する第2結像光学系と；
を含み、

前記第2結像光学系は、前記中間像側から光線が通過する順に、凹面形状の第1フィールドミラーと、

25 第2フィールドミラーと、

少なくとも2つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第1レ

レンズ群と、

正の屈折力を有する第 2 レンズ群と、

開口絞りと、

正の屈折力を有する第 3 レンズ群と、

5 を備えることを特徴とする。

また、上述の第 2 の目的を達成するために、本発明の第 3 の態様にかかる投影光学系は、第 1 面の像を第 2 面上に形成する反射屈折型の投影光学系であって、

10 前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて正の屈折力を有する第 1 群と、

前記第 1 群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて少なくとも 4 つのミラーを含む第 2 群と、

前記第 2 群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、少なくとも 2 つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第 3 群と、

15 前記第 3 群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、少なくとも 3 つの正レンズを含み、正の屈折力を有する第 4 群と、
を備え、

前記第 2 群中に 1 つの中間像が形成され、前記第 4 群中に開口絞りが備えられていることを特徴とする。

20 また、上述の第 2 の目的を達成するために、本発明の第 4 の態様にかかる投影光学系は、第 1 面の像を第 2 面上に形成する反射屈折型の投影光学系であって、

少なくとも 6 つのミラーを含み、前記第 1 面の第 1 中間像及び第 2 中間像を形成する第 1 結像光学系と、

25 前記第 2 中間像を前記第 2 面上にリレーする第 2 結像光学系と
を備えることを特徴とする。

また、上述の第 3 の目的を達成するために、本発明の第 5 の態様にかかる露光装置は、マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光する露光装置であって、

5 前記第 1 面に設定された前記マスクを照明するための照明系と、
前記マスクに形成された前記パターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に形成するための上述の何れかの態様にかかる投影光学系とを備えていることを特徴とする。

10 また、上述の第 3 の目的を達成するために、本発明の第 6 の態様にかかる露光方法は、マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光する露光方法であって、

所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明工程と、
請求の範囲第 1 項乃至第 4 項の何れか一項に記載の投影光学系を用いて、前記第 1 面に配置された前記マスクのパターンを前記第 2 面に配置された感光性基板に露光する露光工程とを含むこと
15 とを特徴とする。

図面の簡単な説明

第 1 図は、本発明の実施形態にかかる露光装置の構成を概略的に示す図である。

20 第 2 図は、本実施形態においてウェハ上に形成される円弧形状の実効露光領域と光軸との位置関係を示す図である。

第 3 図は、本実施形態の第 1 実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。

第 4 図は、本実施形態の第 2 実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。

25 第 5 図は、本実施形態の第 1 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

第 6 図は、第 1 実施例における横収差を示す図である。

第 7 図は、本実施形態の第 2 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。

第 8 図は、第 2 実施例における横収差を示す図である。

5 第 9 図は、第 3 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。

第 10 図は、第 4 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。

10 第 11 図は、第 3 および第 4 実施例にかかるウエハ上の露光領域を示す図である。

第 12 図は、第 3 実施例にかかる反射屈折投影光学系のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。

15 第 13 図は、第 4 実施例にかかる反射屈折投影光学系のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。

第 14 図は、第 5 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。

20 第 15 図は、第 6 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。

第 16 図は、第 7 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。

25 第 17 図は、第 5 実施例にかかる反射屈折投影光学系のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。

第 18 図は、第 6 実施例にかかる反射屈折投影光学系のメリジ

オナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。

第19図は、第7実施例にかかる反射屈折投影光学系のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。

第20図は、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法のフローチャートである。

第21図は、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得る際の手法のフローチャートである。

10 発明を実施する最良の形態

本発明の第1の態様にかかる投影光学系では、境界レンズと像面（第2面）との間の光路中に1.1よりも大きい屈折率を有する媒質を介在させることにより、像側開口数NAの増大を図っている。ちなみに、M. Switkes氏およびM. Rothschild氏が「SPIE2002
15 Microlithography」において「Massachusetts Institute of Technology」に発表した「Resolution Enhancement of 157-nm Lithography by Liquid Immersion」には、波長 λ が200nm以下の光に対して所要の透過率を有する媒質として、フロリナート（Perfluoropolyethers：米国スリーエム社の商品名）や脱イオン
20 水（Deionized Water）などが候補として挙げられている。

また、本発明の第1の態様にかかる投影光学系では、境界レンズの物体側（第1面側）の光学面に正の屈折力を付与することにより、この光学面での反射損失を低減させ、ひいては大きな実効的な像側開口数を確保することができる。このように、像側に液体等
25 の高屈折率物質を媒質として有する光学系では、実効的な像側開口数を1.0以上に高めることが可能であり、ひいては解像

度を高めることができる。しかしながら、投影倍率が一定の場合、像側開口数の増大に伴って物体側開口数も大きくなるため、投影光学系を屈折部材だけで構成すると、ペッツバル条件を満足することが難しく、光学系の大型化も避けられない。

5 そこで、本発明の第1の態様にかかる投影光学系では、少なくとも2枚の反射鏡を含み、すべての透過部材および屈折力（パワー）を有するすべての反射部材が単一光軸に沿って配置され、光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有するタイプの反射屈折型光学系を採用している。このタイプの投影光学系では、たとえば
10 凹面反射鏡の作用により、色収差を良好に補正するとともに、ペッツバル条件を容易に満足して像面湾曲を良好に補正することができ、しかも光学系の小型化が可能である。

 また、このタイプの投影光学系では、すべての透過部材（レンズなど）およびパワーを有するすべての反射部材（凹面反射鏡など）が単一光軸に沿って配置されているので、光学部材が複数の
15 光軸に沿ってそれぞれ配置される複数軸構成に比して製造上の難易度が格段に低くなり好適である。ただし、光学部材が単一光軸に沿って配置される単一軸構成の場合、色収差を良好に補正することが困難な傾向にあるが、たとえばArFレーザ光のように、
20 スペクトル幅を狭帯化したレーザ光を用いることにより、この色収差補正の課題を克服することができる。

 こうして、本発明の第1の態様では、色収差や像面湾曲などの諸収差が良好に補正されて優れた結像性能を有し、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効的な像側開口数を確保すること
25 のできる比較的小型の投影光学系を実現することができる。したがって、本発明の第1の態様にかかる影光学系を用いる露光装置

および露光方法では、優れた結像性能を有し且つ大きな実効的な像側開口数ひいては高い解像度を有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することができる。

5 なお、本発明の第1の態様では、投影光学系が偶数個の反射鏡を有するように構成すること、すなわち偶数回の反射を経て第1面の像が第2面上に形成されるように構成することが好ましい。この構成により、たとえば露光装置や露光方法に適用する場合、ウェハ上にはマスクパターンの裏面像ではなく表面像（正立像または倒立像）が形成されることになるので、屈折型投影光学系を
10 搭載する露光装置と同様に通常のマスク（レチクル）を用いることができる。

 また、本発明の第1の態様において、2つのミラーを含み、前記第1面の中間像を形成する第1結像光学系と、前記中間像を前記第2面に形成する第2結像光学系とを含むように構成することが好ましく、前記第2結像光学系は、前記中間像側から光線が通過する順に、凹面形状の第1フィールドミラーと、第2フィールドミラーと、少なくとも2つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第1レンズ群と、正の屈折力を有する第2レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第3レンズ群とを備えることが好ま
15 しい。
20 この構成によれば、第1結像光学系において第1面の中間像を形成するため、反射屈折投影光学系の開口数を大きくした場合においても、第1面側に向かう光束と第2面側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。また、第2結像光学系に負の屈折力を有する第1レンズ群を備えているため、反射屈折投影光学系の全長を短くすることができ、かつペッツバル条

25 この構成によれば、第1結像光学系において第1面の中間像を形成するため、反射屈折投影光学系の開口数を大きくした場合においても、第1面側に向かう光束と第2面側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。また、第2結像光学系に負の屈折力を有する第1レンズ群を備えているため、反射屈折投影光学系の全長を短くすることができ、かつペッツバル条

件を満足するための調整を容易に行なうことができる。さらに、第1レンズ群は、第1フィールドミラーにより拡げられた光束の画角の違いによるばらつきを緩和し、収差の発生を抑制する。従って、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

そして、上述の構成において、前記第1結像光学系が正の屈折力を有する第4レンズ群と、負レンズと、凹面ミラーと、光路分離ミラーとを備え、前記第1結像光学系中を進行する光が、前記第4レンズ群及び前記負レンズを透過した後、前記凹面ミラーにて反射されて、再度前記負レンズを透過して前記光路分離ミラーへ導かれ、前記光路分離ミラーにて反射された光が、前記第1フィールドミラー及び前記第2フィールドミラーにて反射された後に前記第2結像光学系中の前記第1レンズ群に直接的に入射するように構成されることが好ましい。

この構成によれば、第1結像光学系が正の屈折力を有する第4レンズ群を備えているため、第1面側をテレセントリックにすることができる。また、第1結像光学系が負レンズと凹面ミラーを備えているため、この負レンズと凹面ミラーを調整することにより、ペッツバル条件を満足するための調整を容易に行なうことができる。

また、本発明の第1の態様において、少なくとも6つのミラーを含み、前記第1面の第1中間像及び第2中間像を形成する第1結像光学系と、前記第2中間像を前記第2面上にリレーする第2結像光学系とを備えることが好ましい。

この構成によれば、少なくとも6つのミラーが含まれているた

め、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、反射屈折投影光学系の全長を長くすることなく、第1中間像及び第2中間像を形成することができ、かつ露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

上述の構成において、前記第1結像光学系に含まれる前記少なくとも6つのミラーのうち、前記第1面から射出される光が第2番目に入射するミラーと、前記第1面から射出される光が第4番目に入射するミラーとの間に、前記第1中間像が形成されることが好ましい。

この構成によれば、第1面から射出される光が第2番目に入射するミラーと、第1面から射出される光が第4番目に入射するミラーとの間に、第1中間像が形成される。従って、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、第1面側に向かう光束と第2面側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができ、かつ露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

ところで、本発明の第1の態様にかかる反射屈折型投影光学系を単一光軸で構成するには、瞳位置近傍に中間像を形成する必要があるため、投影光学系は再結像光学系であることが望ましい。また、第1結像の瞳位置近傍に中間像を形成して光路分離を行いつつ光学部材同士の機械的干渉を避けるには、物体側開口数が大きくなった場合でも第1結像の瞳径をできるだけ小さくする必要があるので、開口数の小さい第1結像光学系が反射屈折光学系であることが望ましい。

したがって、本発明の第1の態様では、少なくとも2つの反射

鏡を含み第1面の中間像を形成するための第1結像光学系と、この中間像からの光束に基づいて最終像を第2面上に形成するための第2結像光学系とにより投影光学系を構成することが好ましい。この場合、具体的には、正屈折力の第1レンズ群と、この第1レンズ群と中間像との間の光路中に配置された第1反射鏡と、この第1反射鏡と中間像との間の光路中に配置された第2反射鏡とを用いて、第1結像光学系を構成することができる。

また、第1反射鏡は、第1結像光学系の瞳面の近傍に配置された凹面反射鏡であり、この凹面反射鏡が形成する往復光路中には少なくとも1つの負レンズが配置されていることが好ましい。このように、第1結像光学系において凹面反射鏡が形成する往復光路中に負レンズを配置することにより、ペッツバル条件を容易に満足して像面湾曲を良好に補正することが可能になるとともに、色収差も良好に補正することが可能になる。

また、往復光路中の負レンズは瞳位置近傍に配置されることが望ましいが、第1結像の瞳径をできるだけ小さくする必要があるため、当該負レンズではフルエンス（＝単位面積・単位パルスあたりのエネルギー量）が高くなり易い。したがって、石英を用いて当該負レンズを形成すると、レーザ光の照射を受けて体積収縮による局所的屈折率変化すなわちコンパクションが起こり易く、ひいては投影光学系の結像性能が低下する。

同様に、像面に近接して配置される境界レンズも有効径が小さく、フルエンスが高くなり易い。したがって、石英を用いて境界レンズを形成すると、コンパクションが起こり易く結像性能が低下する。本発明の第1の態様では、第1結像光学系において凹面

反射鏡が形成する往復光路中に配置された負レンズ、および第 2 結像光学系において像面に近接して配置された境界レンズを蛍石で形成することにより、コンパクションに起因する結像性能の低下を回避することができる。

5 また、本発明の第 1 の態様では、次の条件式 (1) を満足することが望ましい。なお、条件式 (1) において、F 1 は第 1 レンズ群の焦点距離であり、Y₀ は第 2 面上における最大像高である。

$$5 < F 1 / Y_0 < 15 \quad (1)$$

10 条件式 (1) の上限値を上回ると、第 1 結像の瞳径が大きくなりすぎて、上述したように光学部材同士の機械的干渉を避けることが困難になるので好ましくない。一方、条件式 (1) の下限値を下回ると、反射鏡への入射光の角度の物体高による差 (画角差) が大きく発生し、コマ収差や像面湾曲等の収差の補正が困難になる

15 るので好ましくない。なお、本発明の効果をさらに良好に発揮するには、条件式 (1) の上限値を 13 に設定し、その下限値を 7 に設定することがさらに好ましい。

20 また、本発明の第 1 の態様では、第 1 レンズ群が少なくとも 2 つの正レンズを有することが好ましい。この構成により、第 1 レンズ群の正屈折力を大きく設定して条件式 (1) を容易に満足することができ、ひいてはコマ収差、歪曲収差、非点収差等を良好に補正することができる。

25 また、反射率が高く且つ耐久性に富んだ反射鏡を製造することは難しく、数多くの反射面を設けることは光量損失につながる。このため、本発明の第 1 の態様では、たとえば露光装置や露光方法に投影光学系を適用する場合、スループット向上の観点から、第 2 結像光学系は複数の透過部材のみにより構成された屈折光学

系であることが好ましい。

また、蛍石は固有複屈折性を有する結晶材料であり、蛍石で形成された透過部材では特に 200 nm 以下の波長の光に対する複屈折の影響が大きい。このため、蛍石透過部材を含む光学系では、
5 結晶軸方位の異なる蛍石透過部材を組み合わせて複屈折による結像性能の低下を抑える必要があるが、このような対策を講じて、複屈折による性能低下を完全に抑えることはできない。

さらに、蛍石では内部の屈折率分布が高周波成分を有することが知られており、この高周波成分を含む屈折率のばらつきがフレアの発生を招いて投影光学系の結像性能を低下させ易いため、
10 蛍石の使用を可能な限り減らすことが好ましい。そこで、本発明では、蛍石の使用を可能な限り減らすために、屈折光学系である第 2 結像光学系を構成する透過部材のうち、70% 以上の透過部材が石英により形成されていることが好ましい。

また、本発明の第 1 の態様では、有効結像領域が円弧形状を有し、次の条件式 (2) を満足することが望ましい。なお、条件式 (2) において、R は有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさであり、Y₀ は上述したように第 2 面上における最大像高である。
15

$$1. \quad 0.5 < R / Y_0 < 1.2 \quad (2)$$

本発明の第 1 の態様では、光軸を含まない円弧形状の有効結像領域を有することにより、光学系の大型化を回避しつつ光路分離を容易に行うことができる。しかしながら、たとえば露光装置や露光方法に適用する場合、マスク上において円弧形状の照明領域
25 を均一に照明することは難しい。したがって、円弧形状の領域を含む矩形形状の領域に対応する矩形形状の照明光束を、円弧形状の開

口部（光透過部）を有する視野絞りにより制限する手法を採用することになる。この場合、視野絞りにおける光量損失を抑えるには、有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさRができるだけ大きいことが必要である。

5 すなわち、条件式（2）の下限値を下回ると、曲率半径の大きさRが小さくなりすぎて、視野絞りにおける光束損失が大きくなり、この照明効率の低下によりスループットが低下するので好ましくない。一方、条件式（2）の上限値を上回ると、曲率半径の
10 大きさRが大きくなりすぎて、スキャン露光時のオーバーラン長の短縮化のために所要幅の有効結像領域を確保しようとする必要必要な収差補正領域が大きくなるため、光学系が大型化するので好ましくない。なお、本発明の効果をさらに良好に発揮するには、
15 条件式（2）の上限値を8に設定し、その下限値を1.07に設定することがさらに好ましい。

15 なお、上述タイプの反射屈折型の投影光学系では、像面（第2面）との間の光路を液体のような媒質で満たさない場合であっても、条件式（2）を満足することにより、照明効率の低下による
20 スループットの低下や必要な収差補正領域の増大による光学系の大型化を回避することができる。また、本発明の投影光学系を露光装置や露光方法に適用する場合、境界レンズと像面との間に満たされる媒質（液体など）の透過率や、レーザ光の狭帯化の程度
25 などを考慮すると、たとえばArFレーザ光（波長193.306nm）を露光光として用いることが好ましい。

25 本発明の第2の態様にかかる投影光学系は、第1面の像を第2面上に形成する反射屈折投影光学系であって、2つのミラーを含み、前記第1面の中間像を形成する第1結像光学系と、前記中間

像を前記第 2 面に形成する第 2 結像光学系とを含み、前記第 2 結像光学系は、前記中間像側から光線が通過する順に、凹面形状の第 1 フィールドミラーと、第 2 フィールドミラーと、少なくとも 2 つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第 1 レンズ群と、正の屈折力を有する第 2 レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第 3 レンズ群とを備えている。

この構成によれば、第 1 結像光学系において第 1 面の中間像を形成するため、反射屈折投影光学系の開口数を大きくした場合においても、第 1 面側に向かう光束と第 2 面側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。また、第 2 結像光学系に負の屈折力を有する第 1 レンズ群を備えているため、反射屈折投影光学系の全長を短くすることができ、かつペッツバル条件を満足するための調整を容易に行なうことができる。更に、第 1 レンズ群は、第 1 フィールドミラーにより拡げられた光束の画角の違いによるばらつきを緩和し、収差の発生を抑制する。従って、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

また、本発明の第 2 の態様にかかる投影光学系において、前記第 1 結像光学系が正の屈折力を有する第 4 レンズ群と、負レンズと、凹面ミラーと、光路分離ミラーとを備え、前記第 1 結像光学系中を進行する光が、前記第 4 レンズ群及び前記負レンズを透過した後、前記凹面ミラーにて反射されて、再度前記負レンズを透過して前記光路分離ミラーへ導かれ、前記光路分離ミラーにて反射された光が、前記第 1 フィールドミラー及び前記第 2 フィールドミラーにて反射された後に前記第 2 結像光学系中の前記第 1

レンズ群に直接的に入射するように構成されることが好ましい。

この構成によれば、第 1 結像光学系が正の屈折力を有する第 4
レンズ群を備えているため、第 1 面側をテレセントリックにする
ことができる。また、第 1 結像光学系が負レンズと凹面ミラーを
5 備えているため、この負レンズと凹面ミラーを調整することによ
り、ペッツバル条件を満足するための調整を容易に行なうこと
ができる。

また、本発明の第 2 の態様にかかる投影光学系において、前記
第 1 フィールドミラーが該第 1 フィールドミラーに入射した光を
10 該反射屈折投影光学系の光軸に向かう方向に折り曲げて射出させ
ることが好ましい。

また、本発明の第 2 の態様にかかる投影光学系において、前記
第 2 フィールドミラーが凸面形状を有することが好ましい。

これらの構成によれば、第 1 フィールドミラーに入射した光線
15 が反射屈折光学系の光軸に向かう方向に折り曲げられて射出され
るため、反射屈折投影光学系の開口数を大きくした場合において
も、第 2 フィールドミラーを小型化することができる。従って、
解像度を高くするために物体側及び像側の開口数を大きくした場
合においても、第 1 面側に向かう光束と第 2 面側に向かう光束と
20 の光路分離を容易に行なうことができる。

本発明の第 2 の態様にかかる投影光学系において、前記第 1 結
像光学系に含まれる前記 2 つのミラーが前記第 1 面からの光が入
射する順に、凹面形状のミラーと、凸面形状のミラーであり、前
記第 2 結像光学系に含まれる前記第 2 フィールドミラーは、凸面
25 形状のミラーであることが好ましい。

この構成によれば、第 1 結像光学系に含まれる 2 つのミラーが

凹面形状及び凸面形状であり、第2フィールドミラーが凸面形状を有しているため、第1結像光学系から射出した光束を第2結像光学系に容易かつ確実に導くことができる。

また、本発明の第2の態様にかかる投影光学系において、前記開口絞りが前記第1フィールドミラーと前記第2面との間に配置され、前記第1フィールドミラーと前記第2面との光軸上距離を $M a$ 、前記第1面と前記第2面との距離を L とするとき、

$$0.17 < M a / L < 0.6$$

の条件を満足することが好ましい。

この構成によれば、 $M a / L$ が0.17より大きいことから、第1フィールドミラーと、第1レンズ群及び第2レンズ群との機械的干渉を回避することができる。また、 $M a / L$ が0.6より小さいことから、反射屈折投影光学系の全長の伸長化及び大型化を回避することができる。

また、本発明の第2の態様にかかる投影光学系では、前記第2結像光学系に含まれる前記第1レンズ群が少なくとも1つの非球面レンズを有することが好ましい。

この構成によれば、第1レンズ群を構成する光学素子の少なくとも1枚が非球面状のレンズを有するため、物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

また、本発明の第3の態様にかかる投影光学系は、第1面の像を第2面上に形成する反射屈折投影光学系において、前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置されて正の屈折力を有する第1群と、前記第1群と前記第2面との間の光路中に配置されて少なくとも4つのミラーを含む第2群と、前記第2群と前記第2面

との間の光路中に配置されて、少なくとも2つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第3群と、前記第3群と前記第2面との間の光路中に配置されて、少なくとも3つの正レンズを含み、正の屈折力を有する第4群とを備え、前記第2群中に1つの中間像が形成され、前記第4群中に開口絞りが備えられている。

この本発明の第3の態様にかかる投影光学系によれば、第2群において第1面の中間像を形成するため、反射屈折投影光学系の開口数を大きくした場合においても、第1面側に向かう光束と第2面側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。また、負の屈折力を有する第3群を備えているため、反射屈折投影光学系の全長を短くすることができ、かつペッツバル条件を満足するための調整を容易に行なうことができる。従って、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

本発明の第3の態様にかかる投影光学系において、前記第2群が前記第1面からの光が入射する順に、凹面形状の第1反射ミラーと、凸面形状の第2反射ミラーと、凹面形状の第3反射ミラーと、凸面形状の第4反射ミラーとを備えることが好ましい。

この構成によれば、第1面から光が入射する順に、凹面ミラーと、凸面ミラーと、凹面ミラーと、凸面ミラーとを備えているため、第1結像光学系から射出した光束を第2結像光学系に容易かつ確実に導くことができる。

本発明の第3の態様にかかる投影光学系において、前記第2群が少なくとも1つの負レンズを含み、前記第2群の光路中で最も前記第3群側に位置する光学素子は、前記第4反射ミラーまたは

光が2度通過する往復レンズであることが好ましい。

この構成によれば、第2群の光路中で最も第3群側に位置する光学素子が第4反射ミラーまたは光が2度通過する往復レンズであるため、負の屈折力を有する第3群に含まれるレンズと、第4
5 反射ミラーまたは往復レンズを調整することにより、ペッツバー
ル条件を満足させるための調整を容易に行なうことができる。

また、本発明の第3の態様にかかる投影光学系において、前記
第3反射ミラーが該第3反射ミラーに入射した光を該反射屈折投
影光学系の光軸に向かう方向に折り曲げて射出させることが好ま
10 しい。

この構成によれば、第3反射ミラーに入射した光線が反射屈折
投影光学系の光軸に向かう方向に折り曲げられて射出されるため、
第4反射ミラーを小型化することができる。従って、解像度を高
くするために物体側及び像側の開口数を大きくした場合において
15 も、第1面側に向かう光束と第2面側に向かう光束との光路分離
を容易かつ確実に行うことができる。

また、本発明の第3の態様にかかる投影光学系において、前記
開口絞りが前記第3反射ミラーと前記第2面との間に配置され、
前記第3反射ミラーと前記第2面との光軸上距離を M_a 、前記第
20 1面と前記第2面との距離を L とするとき、

$$0.17 < M_a / L < 0.6$$

の条件を満足することを特徴とする。

この構成によれば、 M_a / L が0.17より大きいことから、第
3反射ミラーと、第2群及び第3群との機械的干渉を回避するこ
とができる。また、 M_a / L が0.6より小さいことから、反射屈
25 折投影光学系の全長の伸長化及び大型化を回避することができる。

また、本発明の第3の態様にかかる投影光学系において、前記第3群が少なくとも1つの非球面レンズを備えていることを特徴とする。この構成によれば、第3群を構成する光学素子の少なくとも1枚が非球面レンズを有するため、物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

本発明の第4の態様にかかる投影光学系は、第1面の像を第2面上に形成する反射屈折投影光学系において、少なくとも6つのミラーを含み、前記第1面の第1中間像及び第2中間像を形成する第1結像光学系と、前記第2中間像を前記第2面上にリレーする第2結像光学系とを備えている。

本発明の第4の態様にかかる投影光学系によれば、少なくとも6つのミラーが含まれているため、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、反射屈折投影光学系の全長を長くすることなく、第1中間像及び第2中間像を形成することができ、かつ露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

本発明の第4の態様にかかる投影光学系において、前記第1結像光学系に含まれる前記少なくとも6つのミラーのうち、前記第1面から射出される光が第2番目に入射するミラーと、前記第1面から射出される光が第4番目に入射するミラーとの間に、前記第1中間像が形成されることが好ましい。

この構成によれば、第1面から射出される光が第2番目に入射するミラーと、第1面から射出される光が第4番目に入射するミラーとの間に、第1中間像が形成される。従って、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大き

くした場合においても、第1面側に向かう光束と第2面側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができ、かつ露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

5 また、本発明の第4の態様にかかる投影光学系において、前記第1結像光学系が透過型光学素子から構成される正の屈折力を有するフィールドレンズ群を備え、前記少なくとも6つのミラーは、前記フィールドレンズ群を通過した光を連続して反射するように配置されることが好ましい。

10 この構成によれば、第1結像光学系が透過型光学素子から構成される正の屈折力を有するフィールドレンズ群を備えているため、このフィールドレンズ群によりディストーションなどの補正を行うことができ、また第1面側をテレセントリックにすることができる。また、少なくとも6つのミラーの間の光路中にレンズが配置されないため、各ミラーを保持するための領域を確保することができ、かつ各ミラーの保持を容易に行なうことができる。また、
15 光が各ミラーにより連続して反射されるため、各ミラーを調整することにより、容易にペッツバル条件を満足させることができる。

20 また、本発明の第4の態様にかかる投影光学系において、前記第1結像光学系が透過型光学素子から構成される正の屈折力を有するフィールドレンズ群を備えていることが好ましく、前記少なくとも6つのミラーのうち、前記第1面から射出される光が第1番目に入射するミラーと、前記第1面から射出される光が第6番目に入射するミラーとの間に、少なくとも1つの負レンズを備えていることが好ましい。
25

この構成によれば、第1結像光学系が透過型光学素子から構成

される正の屈折力を有するフィールドレンズ群を備えているため、第1面側をテレセントリックにすることができる。また、第1面から射出される光が第1番目に入射するミラーと、第6番目に入射するミラーとの間に、少なくとも1つの負レンズを備えているため、この負レンズを調整することにより、色収差の補正を容易に行なうことができ、かつペッツバル条件を満足するように容易に調整することができる。

また、本発明の第4の態様にかかる投影光学系において、前記第2結像光学系を構成する光学素子が、全て透過型光学素子であり、前記第2面上に前記第1面の縮小像を形成することが好ましい。

この構成によれば、第2結像光学系を構成する光学素子が全て透過型光学素子であることから光路分離の負荷を伴わない。従って、反射屈折投影光学系の像側の開口数を大きくすることができ、高縮小倍率の縮小像を第2面上に形成することができる。また、コマ収差や球面収差の補正を容易に行なうことができる。

また、本発明の第4の態様にかかる投影光学系において、前記第2結像光学系が第1結像光学系から射出される光が通過する順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第4レンズ群とを備えることが好ましい。

この構成によれば、第2結像光学系を構成する正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第4レンズ群とが、ペッツバル条件を満足するために有利に機能する。また、反射屈折投影光学系の全長の大型化を回避する

ことができる。

また、本発明の第4の態様にかかる投影光学系において、前記少なくとも6つのミラーの中の前記第1面から射出される光が該反射屈折投影光学系の光軸から最も離れた位置に配置されるミラーが凹面形状のミラーであることが好ましく、前記開口絞りは、前記凹面形状のミラーと前記第2面との間に配置されることが好ましい。ここで、前記凹面形状のミラーと前記第2面との光軸上距離をMb、前記第1面と前記第2面との距離をLとするとき、

$$0.2 < Mb / L < 0.7$$

の条件を満足することが好ましい。

この構成によれば、Mb/Lが0.2より大きいことから、反射屈折投影光学系の光軸から最も離れた位置に配置される凹面形状のミラーと、第1レンズ群、第2レンズ群及び第3レンズ群との機械的干渉を回避することができる。また、Mb/Lが0.7より小さいことから、反射屈折投影光学系の全長の伸長化及び大型化を回避することができる。

また、本発明の第4の態様にかかる投影光学系は、前記第2レンズ群及び前記第4レンズ群が少なくとも1つの非球面レンズを有することが好ましい。

この構成によれば、第2レンズ群及び第4レンズ群を構成する光学素子の少なくとも1つが非球面状のレンズを有するため、収差補正を容易に行なうことができ、かつ反射屈折投影光学系の全長の大型化を回避することができる。従って、物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

また、本発明の第4の態様にかかる投影光学系は、前記反射屈

折投影光学系が前記第 1 面の中間像である前記第 1 中間像と、前記第 1 中間像の像である前記第 2 中間像とを前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に形成する 3 回結像光学系であることが好ましい。

5 この構成によれば、3 回結像光学系であることから、第 1 中間像は第 1 面の倒立像、第 2 中間像は第 1 面の正立像、第 2 面に形成される像は倒立像となる。従って、反射屈折投影光学系を露光装置に搭載し、第 1 面と第 2 面とを走査して露光を行なう場合に、第 1 面の走査方向と第 2 面の走査方向を逆方向にすることができ、
10 露光装置全体の重心の変化が小さくなるように容易に調整することができる。また、露光装置全体の重心が変化することにより生じる反射屈折投影光学系の振動を軽減することができ、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

 また、本発明の第 2 の態様乃至第 4 の態様にかかる投影光学系
15 は、前記反射屈折投影光学系に含まれるレンズのうち最も前記第 2 面側に位置するレンズの前記第 1 面側のレンズ面は正の屈折力を有し、該最も前記第 2 面側に位置するレンズと前記第 2 面との間の光路中に、前記反射屈折投影光学系中の雰囲気屈折率を 1 とするとき、1.1 よりも大きな屈折率を持つ媒質を介在させる
20 ことを特徴とする。

 この構成によれば、反射屈折投影光学系の最も第 2 面側に位置するレンズと第 2 面との間の光路中に 1.1 よりも大きな屈折率を有する媒質を介在させていることから、媒質中での露光光の波長が、媒質の屈折率を n としたとき空気中の $1/n$ 倍になるため、
25 解像度を向上させることができる。

 また、本発明の第 2 の態様乃至第 4 の態様にかかる投影光学系

は、前記反射屈折投影光学系に含まれて所定の屈折力を有する全ての光学素子の光軸が、実質的に単一直線上に配置され、前記反射屈折投影光学系により前記第2面上に形成される像の領域は、前記光軸を含まない軸外領域であることが好ましい。

5 この構成によれば、反射屈折投影光学系に含まれる全ての光学素子の光軸が実質的に単一直線上に配置されているため、反射屈折投影光学系を製造する際に製造難易度を軽減することができ、各光学部材の相対的な調整を容易に行なうことができる。

10 また、本発明の第5の態様にかかる露光装置は、マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光する露光装置であって、

前記第1面に設定された前記マスクを照明するための照明系と、
前記マスクに形成された前記パターンの像を前記第2面に設定された感光性基板上に形成するための、本発明の第1の態様乃至第4の態様の何れかにかかる投影光学系とを備えている。

15 この構成によれば、コンパクトかつ開口数が大きい反射屈折投影光学系を備えているため、微細なパターンを感光性基板上に良好に露光することができる。

20 また、本発明の第5の態様にかかる露光装置において、前記照明系は前記第2面に対してS偏光となる照明光を供給することが好ましい。この構成によれば、感光性基板上に形成される像のコントラストを向上させて広い焦点深度(DOF)を確保することができる。特に、本発明の第1の態様乃至第4の態様にかかる投影光学系では、光軸を偏向させる機能を有する光路偏向ミラー(折曲げミラー)を用いずに光路分離を行うことが可能である。ここで、
25 光路偏向ミラーで反射されるP偏光とS偏光との間では位相差が多分に発生する恐れが高く、光路偏向ミラーを用いる場合に

は、この反射位相差に起因して、前記第 2 面に対して S 偏光となる照明光を供給することが困難となる、すなわち、照明光学装置の光軸に対して周方向となる偏光を生成しても、第 2 面上では S 偏光とはならない問題が生じる。それに対し、本発明の第 1 の態様乃至第 4 の態様にかかる投影光学系では、このような問題は発生し難い。

また、本発明の第 5 の態様にかかる露光装置において、前記投影光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することが好ましい。

また、本発明の第 6 の態様にかかる露光方法は、マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光する露光方法であって、所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明工程と、本発明の第 1 の態様乃至第 4 の態様の何れかにかかる投影光学系を用いて、前記第 1 面に配置された前記マスクのパターンを前記第 2 面に配置された感光性基板に露光する露光工程とを含んでいる。

この構成によれば、コンパクトかつ開口数が多い反射屈折投影光学系を含む露光装置により露光を行なうため、微細なパターンを良好に露光することができる。

以下、本発明の実施形態について図面を参照しながら説明する。
第 1 図は本発明の露光装置の一実施形態を示す概略構成図である。

第 1 図において、露光装置 E X は、レチクル R（マスク）を支持するレチクルステージ R S T と、基板としてのウェハ W を支持するウェハステージ W S T と、レチクルステージ R S T に支持されているレチクル R を露光光 E L で照明する照明光学系 I L と、

露光光 E L で照明されたレチクル R のパターンの像をウェハステージ W S T に支持されているウェハ W に投影露光する投影光学系 P L と、ウェハ W 上に液体 5 0 を供給する液体供給装置 1 と、ウェハ W の外側に流出した液体 5 0 を回収する回収装置 2 0 と、露光装置 E X 全体の動作を統括制御する制御装置 C O N T とを備えている。

ここで、本実施形態では、露光装置 E X としてレチクル R とウェハ W とを走査方向に沿って同期移動しつつレチクル R に形成されたパターンをウェハ W に露光する走査型露光装置（所謂スキャニングステッパ）を使用する場合を例にして説明する。以下の説明において、投影光学系 P L の光軸 A X と一致する方向を Z 軸方向、Z 軸方向に垂直な平面内でレチクル R とウェハ W との同期移動方向（走査方向）を X 軸方向、Z 軸方向及び Y 軸方向に垂直な方向（非走査方向）を Y 軸方向とする。また、X 軸、Y 軸、及び Z 軸まわり方向をそれぞれ、 θX 、 θY 、及び θZ 方向とする。なお、ここでいう「ウェハ」は半導体ウェハ上にレジストを塗布したものを含み、「レチクル」はウェハ上に拡大・縮小・等倍で投影されるデバイスパターンを形成されたマスクを含む。

照明光学系 I L は、紫外領域の照明光を供給するための光源 1 0 0 からの露光光に基づいて、レチクルステージ R S T に支持されているレチクル R を露光光 E L で照明するものである。照明光学系 I L は、光源 1 0 0 から射出された光束の照度を均一化するオプティカルインテグレータ、オプティカルインテグレータからの露光光 E L を集光するコンデンサレンズ、リレーレンズ系、露光光 E L によるレチクル R 上の照明領域をスリット状に設定する可変視野絞り等を有している。ここで、照明光学系 I L は、光源

1 0 0 からの直線偏光光を、実質的に光量損失なく、レチクル R
(ウェハ W) に対して S 偏光となる偏光光に変換するための S 偏
光変換素子 1 1 0 を備えている。このような S 偏光変換素子とし
ては、たとえば特許第 3 2 4 6 6 1 5 号に開示されている。

5 レチクル R 上の所定の照明領域は照明光学系 I L により均一な
照度分布の露光光 E L で照明される。照明光学系 I L から射出さ
れる露光光 E L としては、例えば水銀ランプから射出される紫外
域の輝線 (g 線、h 線、i 線) 及び K r F エキシマレーザ光 (波
長 2 4 8 n m) 等の遠紫外光 (D U V 光) や、A r F エキシマレ
10 ーザ光 (波長 1 9 3 n m) 及び F 2 レーザ光 (波長 1 5 7 n m)
等の真空紫外光 (V U V 光) などが用いられる。本実施形態では
A r F エキシマレーザ光を用いることにする。

レチクルステージ R S T は、レチクル R を支持するものであつ
て、投影光学系 P L の光軸 A X に垂直な平面内、すなわち X Y 平
15 面内で 2 次元移動可能及び θ Z 方向に微小回転可能である。レチ
クルステージ R S T はリニアモータ等のレチクルステージ駆動装
置 R S T D により駆動される。レチクルステージ駆動装置 R S T
D は制御装置 C O N T により制御される。レチクルステージ R S
T 上のレチクル R の 2 次元方向の位置、及び回転角はレーザ干渉
20 計によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置 C O N T
に出力される。制御装置 C O N T はレーザ干渉計の計測結果に基
づいてレチクルステージ駆動装置 R S T D を駆動することでレチ
クルステージ R S T に支持されているレチクル R の位置決めを行
う。

25 投影光学系 P L は、レチクル R のパターンを所定の投影倍率 β
でウェハ W に投影露光するものであつて、複数の光学素子 (レン

ズ) で構成されており、これら光学素子は金属部材としての鏡筒 P K で支持されている。本実施形態において、投影光学系 P L は、投影倍率 β が例えば $1/4$ あるいは $1/5$ の縮小系である。なお、投影光学系 P L は等倍系及び拡大系のいずれでもよい。また、本
5 実施形態の投影光学系 P L の先端側 (ウェハ W 側) には、光学素子 (レンズ) 6 0 が鏡筒 P K より露出している。この光学素子 6 0 は鏡筒 P K に対して着脱 (交換) 可能に設けられている。

ウェハステージ W S T は、ウェハ W を支持するものであって、ウェハ W をウェハホルダを介して保持する Z ステージ 5 1 と、Z
10 ステージ 5 1 を支持する X Y ステージ 5 2 と、X Y ステージ 5 2 を支持するベース 5 3 とを備えている。ウェハステージ W S T はリニアモータ等のウェハステージ駆動装置 W S T D により駆動される。ウェハステージ駆動装置 W S T D は制御装置 C O N T により制御される。Z ステージ 5 1 を駆動することにより、Z ステ
15 ジ 5 1 に保持されているウェハ W の Z 軸方向における位置 (フォーカス位置)、及び θ X、 θ Y 方向における位置が制御される。また、X Y ステージ 5 2 を駆動することにより、ウェハ W の X Y 方向における位置 (投影光学系 P L の像面と実質的に平行な方向の位置) が制御される。すなわち、Z ステージ 5 1 は、ウェハ W の
20 フォーカス位置及び傾斜角を制御してウェハ W の表面をオートフォーカス方式、及びオートレベリング方式で投影光学系 P L の像面に合わせ込み、X Y ステージ 5 2 はウェハ W の X 軸方向及び Y 軸方向における位置決めを行う。なお、Z ステージと X Y ステージとを一体的に設けてよいことは言うまでもない。

25 ウェハステージ W S T (Z ステージ 5 1) 上には移動鏡 5 4 が設けられている。また、移動鏡 5 4 に対向する位置にはレーザ干

渉計 55 が設けられている。ウェハステージ W S T 上のウェハ W の 2 次元方向の位置、及び回転角はレーザ干渉計 55 によりリアルタイムで計測され、計測結果は制御装置 C O N T に出力される。制御装置 C O N T はレーザ干渉計 55 の計測結果に基づいてウェハステージ駆動装置 W S T D を駆動することでウェハステージ W S T に支持されているウェハ W の位置決めを行う。

本実施形態では、露光波長を実質的に短くして解像度を向上するとともに、焦点深度を実質的に広くするために、液浸法を適用する。そのため、少なくともレチクル R のパターンの像をウェハ W 上に転写している間は、ウェハ W の表面と投影光学系 P L のウェハ W 側の光学素子（レンズ） 60 の先端面（下面） 7 との間に所定の液体 50 が満たされる。上述したように、投影光学系 P L の先端側にはレンズ 60 が露出しており、液体 50 はレンズ 60 のみに接触するように構成されている。これにより、金属からなる鏡筒 P K の腐蝕等が防止されている。また、レンズ 60 の先端面 7 は投影光学系 P L の鏡筒 P K 及びウェハ W より十分小さく、且つ上述したように液体 50 はレンズ 60 のみに接触するように構成されているため、液体 50 は投影光学系 P L の像面側に局所的に満たされている構成となっている。すなわち、投影光学系 P L とウェハ W との間の液浸部分はウェハ W より十分に小さい。本実施形態において、液体 50 には純水が用いられる。純水は、A r F エキシマレーザ光のみならず、露光光 E L を例えば水銀ランプから射出される紫外域の輝線（g 線、h 線、i 線）及び K r F エキシマレーザ光（波長 248 nm）等の遠紫外光（D U V 光）とした場合、この露光光 E L を透過可能である。

露光装置 E X は、投影光学系 P L の先端面（レンズ 60 の先端

面) 7 とウェハ W との間の空間 5 6 に所定の液体 5 0 を供給する液体供給装置 1 と、空間 5 6 の液体 5 0、すなわちウェハ W 上の液体 5 0 を回収する第 2 回収装置としての液体回収装置 2 とを備えている。液体供給装置 1 は、投影光学系 P L の像面側を局所的に液体 5 0 で満たすためのものであって、液体 5 0 を収容するタンク、加圧ポンプ、及び空間 5 6 に供給する液体 5 0 の温度を調整する温度調整装置などを備えている。液体供給装置 1 には供給管 3 の一端部が接続され、供給管 3 の他端部には供給ノズル 4 が接続されている。液体供給装置 1 は供給管 3 及び供給ノズル 4 を介して空間 5 6 に液体 5 0 を供給する。

液体回収装置 2 は、吸引ポンプ、回収した液体 5 0 を収容するタンクなどを備えている。液体回収装置 2 には回収管 6 の一端部が接続され、回収管 6 の他端部には回収ノズル 5 が接続されている。液体回収装置 2 は回収ノズル 5 及び回収管 6 を介して空間 5 6 の液体 5 0 を回収する。空間 5 6 に液体 5 0 を満たす際、制御装置 C O N T は液体供給装置 1 を駆動し、供給管 3 及び供給ノズル 4 を介して空間 5 6 に対して単位時間当たり所定量の液体 5 0 を供給するとともに、液体回収装置 2 を駆動し、回収ノズル 5 及び回収管 6 を介して単位時間当たり所定量の液体 5 0 を空間 5 6 より回収する。これにより投影光学系 P L の先端面 7 とウェハ W との間の空間 5 6 に液体 5 0 が配置され、液浸部分が形成される。ここで、制御装置 C O N T は、液体供給装置 1 を制御することで空間 5 6 に対する単位時間当たりの液体供給量を任意に設定可能であるとともに、液体回収装置 2 を制御することでウェハ W 上からの単位時間当たりの液体回収量を任意に設定可能である。

第 2 図は、本実施形態においてウェハ上に形成される円弧形状

の実効露光領域と光軸との位置関係を示す図である。本実施形態では、第2図に示すように、収差が良好に補正された領域すなわち収差補正領域ARが、光軸AXを中心とした外径（半径） R_o の円と、内径（半径） R_i の円と、距離Hだけ間隔を隔てたX方向に平行な2つの線分とにより円弧形状に規定されている。そして、実効露光領域（有効結像領域）ERは、円弧形状の収差補正領域ARにほぼ内接するように、曲率半径の大きさがRでX方向に間隔を隔てた2つの円弧と、距離Hだけ間隔を隔てたX方向に平行な長さDの2つの線分とにより円弧形状に設定されている。

こうして、投影光学系PLが有するすべての有効結像領域ERは、光軸AXから外れた領域に存在している。そして、円弧形状の実効露光領域ERのY方向に沿った寸法はHであり、X方向に沿った寸法はDである。したがって、図示を省略したが、レチクルR上には、円弧形状の実効露光領域ERに光学的に対応した大きさおよび形状を有する円弧形状の照明領域（すなわち実効照明領域）が、光軸AXを含むことなく形成されていることになる。

また、本実施形態の露光装置では、投影光学系PLを構成する光学部材のうち最もレチクル側に配置された光学部材（第1および第2実施例ではレンズL11、第3および第5実施例ではレンズL1、第4および第6実施例ではレンズL21、第7実施例ではレンズL51）と境界レンズLb（第1および第2実施例ではレンズL217、第3実施例ではレンズL18、第4実施例ではレンズL36、第5実施例ではレンズL20、第6実施例ではレンズL41、第7実施例ではレンズL70）との間で投影光学系PLの内部が気密状態を保つように構成され、投影光学系PLの内部の気体はヘリウムガスや窒素などの不活性ガスで置換されて

いるか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。さらに、照明光学系 I L と投影光学系 P L との間の狭い光路には、レチクル R およびレチクルステージ R S などが配置されているが、レチクル R およびレチクルステージ R S などを密封包囲するケーシング（不図示）の内部に窒素やヘリウムガスなどの不活性ガスが充填されているか、あるいはほぼ真空状態に保持されている。

第 3 図は、本実施形態の第 1 実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。第 3 図を参照すると、第 1 実施例では、境界レンズ L b は、レチクル側（第 1 面側）に向かって凸面を有する。換言すれば、境界レンズ L b のレチクル側の面 S b は、正の屈折力を有する。そして、境界レンズ L b とウェハ W との間の光路は、1.1 よりも大きい屈折率を有する媒質 L m で満たされている。第 1 実施例では、媒質 L m として、脱イオン水を用いている。

第 4 図は、本実施形態の第 2 実施例における境界レンズとウェハとの間の構成を概略的に示す図である。第 4 図を参照すると、第 2 実施例においても第 1 実施例と同様に、境界レンズ L b はレチクル側に向かって凸面を有し、そのレチクル側の面 S b は正の屈折力を有する。しかしながら、第 2 実施例では、第 1 実施例とは異なり、境界レンズ L b とウェハ W との間の光路中に平行平板 L p が挿脱自在に配置され、境界レンズ L b と平行平板 L p との間の光路および平行平板 L p とウェハ W との間の光路は、1.1 よりも大きい屈折率を有する媒質 L m で満たされている。第 2 実施例においても第 1 実施例と同様に、媒質 L m として脱イオン水を用いている。

なお、本実施形態では、投影光学系 P L に対してウェハ W を相

対移動させつつ走査露光を行うステップ・アンド・スキャン方式で露光するに際し、走査露光の開始から終了まで投影光学系 P L の境界レンズ L b とウェハ W との間の光路中に液体媒質 L m を満たし続ける構成としている。なお、たとえば特開平 1 0 - 3 0 3 1 1 4 号公報に開示された技術のように、液体（媒質 L m）を収容することができるようにウェハホルダテーブル W T を容器状に構成し、その内底部の中央において（液体中において）ウェハ W を真空吸着により位置決め保持する構成であっても良い。このとき、投影光学系 P L の鏡筒先端部が液体中に達し、ひいては境界レンズ L b のウェハ側の光学面が液体中に達するように構成する。

このように、光源 1 0 0 から基板 P までの光路の全体に亘って、露光光がほとんど吸収されることのない雰囲気形成されている。また、上述したように、レチクル R 上の照明領域およびウェハ W 上の露光領域（すなわち実効露光領域 E R）は、X 方向に延びる円弧形状である。したがって、レチクルステージ制御装置 R S T D や基板ステージ駆動装置、レーザ干渉計などを用いてレチクル R および基板 W の位置制御を行いながら、X 方向に沿ってレチクルステージ R S T と基板ステージ W S とを、ひいてはレチクル R と基板（ウェハ）W とを同期的に移動（走査）させることにより、基板 W 上には実効露光領域 E R の Y 方向寸法 H に等しい幅を有し且つ基板 W の走査量（移動量）に応じた長さを有する露光領域に対してレチクルパターンが走査露光される。

各実施例において、非球面は、光軸に垂直な方向の高さを y とし、非球面の頂点における接平面から高さ y における非球面上の位置までの光軸に沿った距離（サグ量）を z とし、頂点曲率半径を r とし、円錐係数を κ とし、 n 次の非球面係数を C_n としたと

き、以下の数式（a）で表される。各実施例において、非球面形状に形成されたレンズ面には面番号の右側に＊印を付している。

$$z = (y^2 / r) / [1 + \{1 - (1 + k) \cdot y^2 / r^2\}^{1/2}] + c_4 \cdot y^4 + c_6 \cdot y^6 + c_8 \cdot y^8 + c_{10} \cdot y^{10} + c_{12} \cdot y^{12} + c_{14} \cdot y^{14} + c_{16} \cdot y^{16} + c_{18} \cdot y^{18} + c_{20} \cdot y^{20} \quad (a)$$

なお、第1および第2実施例では、非球面係数 $C_{16} \sim C_{20}$ の値が0であるため、その記載を省略している。

また、各実施例において、投影光学系PLは、物体面（第1面）に配置されたレチクルRのパターンの中間像を形成するための第1結像光学系G1と、中間像からの光に基づいて像面（第2面）に配置されたウェハW上にレチクルパターンの縮小像を形成するための第2結像光学系G2とにより構成されている。ここで、第1結像光学系G1は第1凹面反射鏡CM1と第2凹面反射鏡CM2とを含む反射屈折光学系であり、第2結像光学系G2は屈折光学系である。

[第1実施例]

第5図は、本実施形態の第1実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第5図を参照すると、第1実施例にかかる投影光学系PLにおいて、第1結像光学系G1は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、ウェハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズL11と、両凸レンズL12と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズL13と、第1凹面反射鏡CM1とを備えている。また、第1結像光学系G1では、第1凹面反射鏡CM1で反射され且つ負メニスカスレンズL13

を介した光を第2結像光学系G2に向かって反射するための第2凹面反射鏡CM2の反射面が、両凸レンズL12と負メニスカスレンズL13との間において光軸AXを含まない領域に配置されている。したがって、両凸レンズL11および両凸レンズL12が、正の屈折力を有する第1レンズ群を構成している。また、第1凹面反射鏡CM1が、第1結像光学系G1の瞳面の近傍に配置された凹面反射鏡を構成している。

一方、第2結像光学系G2は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL21と、両凸レンズL22と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL23と、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズL24と、レチクル側に凸面を向けた負メニスカスレンズL25と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズL26と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL27と、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズL28と、両凸レンズL29と、両凸レンズL210と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズL211と、開口絞りASと、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズL212と、両凸レンズL213と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL214と、レチクルに凸面を向けた正メニスカスレンズL215と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズL216と、ウェハ側に平面を向けた平凸レンズL217（境界レンズLb）とにより構成されている。

第1実施例では、投影光学系PLを構成するすべての透過部材（レンズ）およびパワーを有するすべての反射部材（第1凹面反

射鏡 C M 1 , 第 2 凹面反射鏡 C M 2) は単一の光軸 A X に沿って配置されている。すなわち、第 2 結像光学系 G 2 を構成する透過部材のうち、100%の透過部材が石英により形成されている。そして、境界レンズ L b としての平凸レンズ L 2 1 7 とウェハ W との間の光路には、脱イオン水からなる媒質 L m が満たされている。第 1 実施例では、レチクル R からの光が、レンズ L 1 1 ~ L 1 3 を介して、第 1 凹面反射鏡 C M 1 に入射する。第 1 凹面反射鏡 C M 1 で反射された光は、レンズ L 1 3 および第 2 凹面反射鏡 C M 2 を介して、第 1 凹面反射鏡 C M 1 の近傍にレチクル R の中間像を形成する。第 2 凹面反射鏡 C M 2 で反射された光は、レンズ L 2 1 ~ L 2 1 7 (L b) を介して、ウェハ W 上にレチクル R の縮小像を形成する。

第 1 実施例では、投影光学系 P L を構成するすべての透過部材 (レンズ) が、石英 (S i O ₂) により形成されている。露光光である A r F エキシマレーザ光の発振中心波長は、193.306 nm であり、193.306 nm 付近において石英の屈折率は、+1 pm の波長変化あたり -1.591×10^{-6} の割合で変化し、-1 pm の波長変化あたり $+1.591 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、193.306 nm 付近において、石英の屈折率の分散 ($dn/d\lambda$) は、 $-1.591 \times 10^{-6}/pm$ である。また、193.306 nm 付近において脱イオン水の屈折率は、+1 pm の波長変化あたり -2.6×10^{-6} の割合で変化し、-1 pm の波長変化あたり $+2.6 \times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、193.306 nm 付近において、脱イオン水の屈折率の分散 ($dn/d\lambda$) は、 $-2.6 \times 10^{-6}/pm$ である。

こうして、第 1 実施例において、中心波長 193.306 nm

に対する石英の屈折率は 1.5603261 であり、 $193.306\text{ nm} + 0.1\text{ pm} = 193.3061\text{ nm}$ に対する石英の屈折率は 1.560325941 であり、 $193.306\text{ nm} - 0.1\text{ pm} = 193.3059\text{ nm}$ に対する石英の屈折率は 1.560326259 である。また、中心波長 193.306 nm に対する脱イオン水の屈折率は 1.47 であり、 $193.306\text{ nm} + 0.1\text{ pm} = 193.3061\text{ nm}$ に対する脱イオン水の屈折率は 1.46999974 であり、 $193.306\text{ nm} - 0.1\text{ pm} = 193.3059\text{ nm}$ に対する脱イオン水の屈折率は 1.47000026 である。

次の表（１）に、第１実施例にかかる投影光学系 P L の諸元の値を掲げる。表（１）において、 λ は露光光の中心波長を、 β は投影倍率（全系の結像倍率）を、N A は像側（ウェハ側）開口数を、 R_o および R_i は収差補正領域 A R の外半径および内半径を、H および D は実効露光領域 E R の Y 方向寸法および X 方向寸法を、R は円弧形状の実効露光領域 E R（有効結像領域）を規定する円弧の曲率半径の大きさを、 Y_o は最大像高をそれぞれ表している。また、面番号は物体面（第１面）であるレチクル面から像面（第２面）であるウェハ面への光線の進行する方向に沿ったレチクル側からの面の順序を、 r は各面の曲率半径（非球面の場合には頂点曲率半径：mm）を、 d は各面の軸上間隔すなわち面間隔（mm）を、 n は中心波長に対する屈折率をそれぞれ示している。

なお、面間隔 d は、反射される度にその符号を変えるものとする。したがって、面間隔 d の符号は、第１凹面反射鏡 C M １から第２凹面反射鏡 C M ２までの光路中では負とし、その他の光路中では正としている。そして、光の入射方向にかかわらず、レチク

ル側に向かって凸面の曲率半径を正とし、凹面の曲率半径を負としている。なお、表（１）における表記は、以降の表（２）においても同様である。

【表 １】

5 (主要諸元)

$$\lambda = 193.306 \text{ nm}$$

$$\beta = +1/4$$

$$NA = 1.04$$

$$R_o = 17.0 \text{ mm}$$

10 $R_i = 11.5 \text{ mm}$

$$H = 26.0 \text{ mm}$$

$$D = 4.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$Y_o = 17.0 \text{ mm}$$

15 (光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
	(レチクル面)	70.25543		
1	444.28100	45.45677	1.5603261	(L 1 1)
2*	-192.24078	1.00000		
20 3	471.20391	35.53423	1.5603261	(L 1 2)
4	-254.24538	122.19951		
5*	-159.65514	13.00000	1.5603261	(L 1 3)
6	-562.86259	9.00564		
7	-206.23868	-9.00564		(CM 1)
25 8	-562.86259	-13.00000	1.5603261	(L 1 3)
9*	-159.65514	-107.19951		

	10	3162.83419	144.20515		(C M 2)
	11	-389.01215	43.15699	1.5603261	(L 2 1)
	12	-198.92113	1.00000		
	13	3915.27567	42.01089	1.5603261	(L 2 2)
5	14	-432.52137	1.00000		
	15	203.16777	62.58039	1.5603261	(L 2 3)
	16*	515.92133	18.52516		
	17*	356.67027	20.00000	1.5603261	(L 2 4)
	18	269.51733	285.26014		
10	19	665.61079	35.16606	1.5603261	(L 2 5)
	20	240.55938	32.43496		
	21*	-307.83344	15.00000	1.5603261	(L 2 6)
	22	258.17867	58.24284		
	23	-1143.34122	51.43638	1.5603261	(L 2 7)
15	24	-236.25969	6.67292		
	25*	1067.55487	15.00000	1.5603261	(L 2 8)
	26	504.02619	18.88857		
	27	4056.97655	54.00381	1.5603261	(L 2 9)
	28	-283.04360	1.00000		
20	29	772.31002	28.96307	1.5603261	(L 2 1 0)
	30	-8599.87899	1.00000		
	31	667.92225	52.94747	1.5603261	(L 2 1 1)
	32	36408.68946	2.30202		
	33	∞	42.27703		(A S)
25	34	-2053.34123	30.00000	1.5603261	(L 2 1 2)
	35	-514.67146	1.00000		

	36	1530.45141	39.99974	1.5603261	(L 2 1 3)
	37	-540.23726	1.00000		
	38	370.56341	36.15464	1.5603261	(L 2 1 4)
	39*	12719.40982	1.00000		
5	40	118.92655	41.83608	1.5603261	(L 2 1 5)
	41	190.40194	1.00000		
	42	151.52892	52.42553	1.5603261	(L 2 1 6)
	43*	108.67474	1.12668		
	44	91.54078	35.50067	1.5603261	(L 2 1 7 :
10	L b)				
	45	∞	6.00000	1.47	(L m)

(ウエハ面)

(非球面データ)

2 面

$$15 \quad \kappa = 0$$

$$C_4 = -8.63025 \times 10^{-9} \quad C_6 = 2.90424 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = 5.43348 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 1.65523 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = 8.78237 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 6.53360 \times 10^{-30}$$

5 面および 9 面 (同一面)

$$20 \quad \kappa = 0$$

$$C_4 = 7.66590 \times 10^{-9} \quad C_6 = 6.09920 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -6.53660 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.44925 \times 10^{-20}$$

$$C_{12} = -3.14967 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 2.21672 \times 10^{-28}$$

$$25 \quad -28$$

1 6 面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -3.79715 \times 10^{-8} \quad C_6 = 2.19518 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -9.40364 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.33573 \times 10^{-21}$$

$$5 \quad C_{12} = -7.42012 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.05652 \times 10^{-30}$$

17面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -6.69596 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.67561 \times 10^{-12}$$

$$10 \quad C_8 = -6.18763 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.65428 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -4.09555 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 3.25841 \times 10^{-31}$$

21面

$$15 \quad \kappa = 0$$

$$C_4 = -8.68772 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.30306 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -2.65902 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -6.56830 \times 10^{-21}$$

$$20 \quad C_{12} = 3.66980 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -5.05595 \times 10^{-29}$$

25面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -1.54049 \times 10^{-8} \quad C_6 = 7.71505 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 1.75760 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 1.71383 \times 10^{-23}$$

$$25 \quad C_{12} = 5.04584 \times 10^{-29} \quad C_{14} = 2.08622 \times 10^{-32}$$

39面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -3.91974 \times 10^{-11} \quad C_6 = 5.90682 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 2.85949 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -1.01828 \times 10^{-22}$$

$$5 \quad C_{12} = 2.26543 \times 10^{-27} \quad C_{14} = -1.90645 \times 10^{-32}$$

4 3 面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 8.33324 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.42277 \times 10^{-11}$$

$$10 \quad C_8 = -1.13452 \times 10^{-15} \quad C_{10} = 1.18459 \times 10^{-18}$$

$$C_{12} = -2.83937 \times 10^{-22} \quad C_{14} = 5.01735 \times 10^{-26}$$

(条件式対応値)

$$15 \quad F_1 = 164.15 \text{ mm}$$

$$Y_0 = 17.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$(1) F_1 / Y_0 = 9.66$$

$$(2) R / Y_0 = 1.227$$

20 第6図は、第1実施例における横収差を示す図である。収差図において、Yは像高を、実線は中心波長193.3060 nmを、破線は193.306 nm + 0.1 pm = 193.3061 nmを、一点鎖線は193.306 nm - 0.1 pm = 193.3059 nmをそれぞれ示している。なお、第6図における表記は、
25 以降の第8図においても同様である。第6図の収差図から明らかに、第1実施例では、非常に大きな像側開口数 (NA = 1.

0 4) および比較的大きな実効露光領域 E R を確保しているにもかかわらず、波長幅が $193.306\text{ nm} \pm 0.1\text{ pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

[第 2 実施例]

5 第 7 図は、本実施形態の第 2 実施例にかかる投影光学系のレンズ構成を示す図である。第 7 図を参照すると、第 2 実施例にかかる投影光学系 P L において、第 1 結像光学系 G 1 は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、ウェハ側に非球面形状の凸面を向けた両凸レンズ L 1 1 と、両凸レンズ L 1 2 と、レチクル側に
10 非球面形状の凹面を向けた負メニスカスレンズ L 1 3 と、第 1 凹面反射鏡 C M 1 とを備えている。また、第 1 結像光学系 G 1 では、第 1 凹面反射鏡 C M 1 で反射され且つ負メニスカスレンズ L 1 3 を介した光を第 2 結像光学系 G 2 に向かって反射するための第 2 凹面反射鏡 C M 2 の反射面が、両凸レンズ L 1 2 と負メニスカス
15 レンズ L 1 3 との間において光軸 A X を含まない領域に配置されている。したがって、両凸レンズ L 1 1 および両凸レンズ L 1 2 が、正の屈折力を有する第 1 レンズ群を構成している。また、第 1 凹面反射鏡 C M 1 が、第 1 結像光学系 G 1 の瞳面の近傍に配置された凹面反射鏡を構成している。

20 一方、第 2 結像光学系 G 2 は、光の進行方向に沿ってレチクル側から順に、レチクル側に凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 1 と、両凸レンズ L 2 2 と、ウェハ側に非球面形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 3 と、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた負メニスカスレンズ L 2 4 と、レチクル側に凸面を向けた
25 負メニスカスレンズ L 2 5 と、レチクル側に非球面形状の凹面を向けた両凹レンズ L 2 6 と、レチクル側に凹面を向けた正メニ

5 スカスレンズ L 2 7 と、レチクル側に非球面形状の凸面を向けた
負メニスカスレンズ L 2 8 と、両凸レンズ L 2 9 と、両凸レンズ
L 2 1 0 と、レチクル側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 2
1 1 と、開口絞り A S と、レチクル側に凹面を向けた正メニスカ
10 スレンズ L 2 1 2 と、両凸レンズ L 2 1 3 と、ウェハ側に非球面
形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 1 4 と、レチクルに
凸面を向けた正メニスカスレンズ L 2 1 5 と、ウェハ側に非球面
形状の凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 1 6 と、ウェハ側に
平面を向けた平凸レンズ L 2 1 7（境界レンズ L b）とにより構
15 成されている。

第 2 実施例では、境界レンズ L b としての平凸レンズ L 2 1 7
とウェハ W との間の光路中に、平行平板 L p が配置されている。
そして、境界レンズ L b と平行平板 L p との間の光路および平
行平板 L p とウェハ W との間の光路には、脱イオン水からなる
15 媒質 L m が満たされている。また、第 2 実施例では、投影光学系
P L を構成する透過部材（レンズ）が、石英または蛍石（C a F₂）
により形成されている。具体的には、レンズ L 1 3、レンズ L 2
1 6 およびレンズ L 2 1 7（L b）が蛍石により形成され、その
他のレンズおよび平行平板 L p が石英により形成されている。
20 すなわち、第 2 結像光学系 G 2 を構成する透過部材のうち、約 8
8 % の透過部材が石英により形成されている。

さらに、第 2 実施例では、投影光学系 P L を構成するすべての
透過部材（レンズ、平行平板）およびパワーを有するすべての
反射部材（第 1 凹面反射鏡 C M 1、第 2 凹面反射鏡 C M 2）は単
25 一の光軸 A X に沿って配置されている。こうして、第 2 実施例で
は、レチクル R からの光が、レンズ L 1 1 ~ L 1 3 を介して、第

1 凹面反射鏡 C M 1 に入射する。第 1 凹面反射鏡 C M 1 で反射された光は、レンズ L 1 3 および第 2 凹面反射鏡 C M 2 を介して、第 1 凹面反射鏡 C M 1 の近傍にレチクル R の中間像を形成する。第 2 凹面反射鏡 C M 2 で反射された光は、レンズ L 2 1 ~ L 2 1
5 7 (L b) および平行平板 L p を介して、ウェハ W 上にレチクル R の縮小像を形成する。

第 2 実施例では、露光光である A r F エキシマレーザ光の発振中心波長は、1 9 3 . 3 0 6 n m であり、1 9 3 . 3 0 6 n m 付近において石英の屈折率は、+ 1 p m の波長変化あたり - 1 . 5
10 9 1 $\times 10^{-6}$ の割合で変化し、- 1 p m の波長変化あたり + 1 . 5 9 1 $\times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、1 9 3 . 3 0 6 n m 付近において、石英の屈折率の分散 (d n / d λ) は、- 1 . 5 9 1 $\times 10^{-6}$ / p m である。また、1 9 3 . 3 0 6 n m 付近において蛍石の屈折率は、+ 1 p m の波長変化あたり - 0 . 9 8 0 $\times 10^{-6}$ の割合で変化し、- 1 p m の波長変化あたり + 0 . 9 8 0 $\times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、1 9 3 . 3 0 6 n m 付近において、蛍石の屈折率の分散 (d n / d λ) は、- 0 . 9 8 0 $\times 10^{-6}$ / p m である。

さらに、1 9 3 . 3 0 6 n m 付近において脱イオン水の屈折率は、+ 1 p m の波長変化あたり - 2 . 6 $\times 10^{-6}$ の割合で変化し、
20 - 1 p m の波長変化あたり + 2 . 6 $\times 10^{-6}$ の割合で変化する。換言すると、1 9 3 . 3 0 6 n m 付近において、脱イオン水の屈折率の分散 (d n / d λ) は、- 2 . 6 $\times 10^{-6}$ / p m である。こうして、第 2 実施例において、中心波長 1 9 3 . 3 0 6 n m に対する石英の屈折率は 1 . 5 6 0 3 2 6 1 であり、1 9 3 . 3 0 6 n
25 m + 0 . 1 p m = 1 9 3 . 3 0 6 1 n m に対する石英の屈折率は

1. 560325941であり、 $193.306\text{ nm} - 0.1\text{ pm} = 193.3059\text{ nm}$ に対する石英の屈折率は1.560326259である。

また、中心波長 193.306 nm に対する蛍石の屈折率は1.5014548であり、 $193.306\text{ nm} + 0.1\text{ pm} = 193.3061\text{ nm}$ に対する蛍石の屈折率は1.501454702であり、 $193.306\text{ nm} - 0.1\text{ pm} = 193.3059\text{ nm}$ に対する蛍石の屈折率は1.501454898である。さらに、中心波長 193.306 nm に対する脱イオン水の屈折率は1.47であり、 $193.306\text{ nm} + 0.1\text{ pm} = 193.3061\text{ nm}$ に対する脱イオン水の屈折率は1.46999974であり、 $193.306\text{ nm} - 0.1\text{ pm} = 193.3059\text{ nm}$ に対する脱イオン水の屈折率は1.47000026である。次の表(2)に、第2実施例にかかる投影光学系PLの諸元の値を掲げる。

【表2】

(主要諸元)

$$\lambda = 193.306\text{ nm}$$

$$\beta = +1/4$$

$$20 \quad \text{NA} = 1.04$$

$$\text{Ro} = 17.0\text{ mm}$$

$$\text{Ri} = 11.5\text{ mm}$$

$$\text{H} = 26.0\text{ mm}$$

$$\text{D} = 4.0\text{ mm}$$

$$25 \quad \text{R} = 20.86\text{ mm}$$

$$\text{Y}_0 = 17.0\text{ mm}$$

(光学部材諸元)

面番号	r	d	n	光学部材
	(レチクル面)	72.14497		
	1	295.66131	46.03088	1.5603261 (L 1 1)
5	2*	-228.07826	1.02581	
	3	847.63618	40.34103	1.5603261 (L 1 2)
	4	-207.90948	124.65407	
	5*	-154.57886	13.00000	1.5014548 (L 1 3)
	6	-667.19164	9.58580	
10	7	-209.52775	-9.58580	(CM 1)
	8	-667.19164	-13.00000	1.5014548 (L 1 3)
	9*	-154.57886	-109.65407	
	10	2517.52751	147.23986	(CM 2)
	11	-357.71318	41.75496	1.5603261 (L 2 1)
15	12	-196.81705	1.00000	
	13	8379.53651	40.00000	1.5603261 (L 2 2)
	14	-454.81020	8.23083	
	15	206.30063	58.07852	1.5603261 (L 2 3)
	16*	367.14898	24.95516	
20	17*	258.66863	20.00000	1.5603261 (L 2 4)
	18	272.27694	274.16477	
	19	671.42370	49.62123	1.5603261 (L 2 5)
	20	225.79907	35.51978	
	21*	-283.63484	15.10751	1.5603261 (L 2 6)
25	22	261.37852	56.71822	
	23	-1947.68869	54.63076	1.5603261 (L 2 7)

	24	-227.05849	5.77639		
	25*	788.97953	15.54026	1.5603261	(L 2 8)
	26	460.12935	18.83954		
	27	1925.75038	56.54051	1.5603261	(L 2 9)
5	28	-295.06884	1.00000		
	29	861.21046	52.50515	1.5603261	(L 2 1 0)
	30	-34592.86759	1.00000		
	31	614.86639	37.34179	1.5603261	(L 2 1 1)
	32	39181.66426	1.00000		
10	33	∞	46.27520		(A S)
	34	-11881.91854	30.00000	1.5603261	(L 2 1 2)
	35	-631.95129	1.00000		
	36	1465.88641	39.89113	1.5603261	(L 2 1 3)
	37	-542.10144	1.00000		
15	38	336.45791	34.80369	1.5603261	(L 2 1 4)
	39*	2692.15238	1.00000		
	40	112.42843	43.53915	1.5603261	(L 2 1 5)
	41	189.75478	1.00000		
	42	149.91358	42.41577	1.5014548	(L 2 1 6)
20	43*	107.28888	1.06533		
	44	90.28791	31.06087	1.5014548	(L 2 1 7 :
	L b)				
	45	∞	1.00000	1.47	(L m)
	46	∞	3.00000	1.5603261	(L p)
25	47	∞	5.00000	1.47	(L m)

(ウエハ面)

(非球面データ)

2 面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = 9.57585 \times 10^{-9} \quad C_6 = 7.09690 \times 10^{-13}$$

$$5 \quad C_8 = 1.30845 \times 10^{-16} \quad C_{10} = -5.52152 \times 10^{-22}$$

$$C_{12} = 4.46914 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -2.07483 \times 10^{-29}$$

5 面および 9 面 (同一面)

$$10 \quad \kappa = 0$$

$$C_4 = 1.16631 \times 10^{-8} \quad C_6 = 6.70616 \times 10^{-13}$$

$$C_8 = -1.87976 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 1.71587 \times 10^{-20}$$

$$15 \quad C_{12} = -2.34827 \times 10^{-24} \quad C_{14} = 1.90285 \times 10^{-28}$$

1 6 面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -4.06017 \times 10^{-8} \quad C_6 = 2.22513 \times 10^{-12}$$

$$20 \quad C_8 = -9.05000 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 3.29839 \times 10^{-21}$$

$$C_{12} = -7.46596 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.06948 \times 10^{-30}$$

1 7 面

$$\kappa = 0$$

$$25 \quad C_4 = -6.69592 \times 10^{-8} \quad C_6 = 1.42455 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -5.65516 \times 10^{-17} \quad C_{10} = 2.48078 \times 10^{-21}$$

-21

$$C_{12} = -2.91653 \times 10^{-26} \quad C_{14} = 1.53981 \times 10$$

-31

5 2 1 面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -7.97186 \times 10^{-8} \quad C_6 = -1.32969 \times 10^{-12}$$

$$C_8 = -1.98377 \times 10^{-17} \quad C_{10} = -4.95016 \times 10^{-21}$$

$$10 \quad C_{12} = 2.53886 \times 10^{-25} \quad C_{14} = -4.16817 \times 10$$

-29

2 5 面

$$\kappa = 0$$

$$C_4 = -1.55844 \times 10^{-8} \quad C_6 = 7.27672 \times 10^{-14}$$

$$15 \quad C_8 = 1.90600 \times 10^{-18} \quad C_{10} = 1.21465 \times 10^{-23}$$

$$C_{12} = -7.56829 \times 10^{-29} \quad C_{14} = 1.86889 \times 10$$

-32

3 9 面

$$\kappa = 0$$

$$20 \quad C_4 = -6.91993 \times 10^{-11} \quad C_6 = 7.80595 \times 10^{-14}$$

$$C_8 = 3.31216 \times 10^{-18} \quad C_{10} = -1.39159 \times 10$$

-22

$$C_{12} = 3.69991 \times 10^{-27} \quad C_{14} = -4.01347 \times 10$$

-32

25 4 3 面

$$\kappa = 0$$

$$\begin{aligned}
 C_4 &= 8.30019 \times 10^{-8} & C_6 &= 1.24781 \times 10^{-11} \\
 C_8 &= -9.26768 \times 10^{-16} & C_{10} &= 1.08933 \times 10^{-18} \\
 C_{12} &= -3.01514 \times 10^{-22} & C_{14} &= 5.41882 \times 10^{-26}
 \end{aligned}$$

(条件式対応値)

$$F1 = 178.98 \text{ mm}$$

$$Y_0 = 17.0 \text{ mm}$$

$$R = 20.86 \text{ mm}$$

$$(1) F1 / Y_0 = 10.53$$

$$(2) R / Y_0 = 1.227$$

第8図は、第2実施例における横収差を示す図である。第8図の収差図から明らかなように、第2実施例においても第1実施例と同様に、非常に大きな像側開口数 ($NA = 1.04$) および比較的大きな実効露光領域 ER を確保しているにもかかわらず、波長幅が $193.306 \text{ nm} \pm 0.1 \text{ pm}$ の露光光に対して色収差が良好に補正されていることがわかる。

こうして、各実施例では、波長が 193.306 nm の ArF エキシマレーザ光に対して、 1.04 の高い像側開口数を確保するとともに、 $26.0 \text{ mm} \times 4.0 \text{ mm}$ の円弧形状の実効露光領域 (静止露光領域) を確保することができ、たとえば $26 \text{ mm} \times 33 \text{ mm}$ の矩形状の露光領域内に回路パターンを高解像度で走査露光することができる。

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。第9図は、この発明の第3の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。第3の実施の形態にかかる反射屈折投影

光学系 P L 1 は、物体側（即ちレチクル R 1 側）から順に、第 1 面に位置するレチクル R 1 の中間像を形成する第 1 結像光学系 G 1 と、レチクル R 1 の中間像を第 2 面に位置するウェハ（図示せず）上に形成する第 2 結像光学系 G 2 とから構成されている。

5 第 1 結像光学系 G 1 は、正の屈折力を有するレンズ群（第 4 レンズ群または第 1 群） G 1 1、後述するレンズ L 5 及び 2 枚の反射ミラー M 1、M 2 により構成されている。レンズ群 G 1 1 は、レチクル R 1 側をテレセントリックとするために機能する。また、第 2 結像光学系 G 2 は、後述する 2 枚の反射ミラー M 3、M 4、
10 負の屈折力を有するレンズ群（第 1 レンズ群または第 3 群） G 2 1、正の屈折力を有するレンズ群（第 2 レンズ群） G 2 2、開口絞り A S 1、正の屈折力を有するレンズ群（第 3 レンズ群） G 2 3 により構成されている。レンズ群 G 2 1 は、倍率調整を行なうと共に、反射ミラー M 3 により広げられた光束の画角の違いによるばらつきを緩和することにより、収差の発生を抑制する。また、
15 レンズ群 G 2 2 は、発散する光束を収斂させる。また、レンズ群 G 2 3 は、ウェハ側が大きな開口数を持つように光束の集光を行う。

ここで、レンズ群 G 1 1 は、物体側（レチクル R 1 側）からの
20 光線が通過する順に、平行平板 L 1、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた負メニスカスレンズ L 2、両凸レンズ L 3、ウェハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 4 により構成されている。

正メニスカスレンズ L 4 を通過した光束は、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ（負レンズ） L 5 を通過し、物体側に凹
25 面を向けた凹面反射ミラー（凹面ミラーまたは第 1 反射ミラー）

M 1 により反射され、再び負メニスカスレンズ L 5 を通過し、ウエハ側に凸面を向けた凸面反射ミラー（光路分離ミラーまたは第 2 反射ミラー）M 2 により反射される。負メニスカスレンズ L 5 は、ペッツバール条件を満足するために機能する。

5 凸面反射ミラー M 2 により反射された光束は、レチクル R 1 側に向かう光束とウエハ側に向かう光束との光路分離を確実にを行うために、第 9 図に示す位置 a にレチクル R 1 の中間像を形成する。ここで、位置 a は、凹面反射ミラー M 1 が配置されている光軸 A X 1 を法線とする平面上またはその近傍に位置する。

10 次に、凸面反射ミラー M 2 により反射された光束は、物体側に凹面を向けた凹面反射ミラー（第 1 フィールドミラーまたは第 3 反射ミラー）M 3 に入射し、反射屈折投影光学系 P L 1 の光軸 A X 1 に向かう方向に折り曲げられて、凹面反射ミラー 3 により射出される。凹面反射ミラー 3 により射出された光束は、急速に収
15 斂され、ウエハ側に凸面を向けた凸面反射ミラー（第 2 フィールドミラーまたは第 4 反射ミラー）M 4 により反射され、レンズ群 G 2 1 を構成する負メニスカスレンズ L 6 に直接的に入射する。凸面反射ミラー M 4 は、凹面反射ミラー M 3 により拡げられた画角による光束のばらつきを緩和することにより、収差の発生を抑
20 制する。なお、負メニスカスレンズ L 5 、凹面反射ミラー M 1 、凸面反射ミラー M 2 、凹面反射ミラー M 3 、凸面反射ミラー M 4 は、第 2 群を構成する。

 レンズ群 G 2 1 は、光線が通過する順に、物体側に非球面状に形成された凸面を向けた負メニスカスレンズ L 6 、ウエハ側に非
25 球面状に形成された凹面を向けた両凹レンズ L 7 により構成されている。負メニスカスレンズ L 6 及び両凹レンズ L 7 が非球面状

のレンズ面を有することから、反射屈折投影光学系 P L 1 の像側での大きな開口数を有しつつ、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

また、レンズ群 G 2 2 は、光線が通過する順に、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 8、両凸レンズ L 9、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1 0、両凸レンズ L 1 1、両凸レンズ L 1 2 により構成されている。また、レンズ群 G 2 3 は、光線が通過する順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 3、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 4、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 5、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1 6、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1 7、物体側に凸面を向けた、正の屈折力を有する平凸レンズ L 1 8 により構成されている。なお、レンズ群 G 2 2、開口絞り A S 1、レンズ群 G 2 3 は、第 4 群を構成する。

また、反射屈折投影光学系 P L 1 は、反射ミラー M 3 と開口絞り A S 1 との光軸 A X 1 上における距離を $M a$ 、レチクル R 1 とウエハとの距離を L としたとき、 $0.17 < M a / L < 0.6$ の条件を満足するように構成されている。 $M a / L$ が下限を満足することにより、凹面反射ミラー M 3 と、レンズ群 G 2 1 及びレンズ群 G 2 2 との機械的干渉を回避することができる。また、 $M a / L$ が上限を満足することにより、反射屈折投影光学系 P L 1 の全長の伸長化及び大型化を回避することができる。機械的干渉を確実に回避し、投影光学系の全長の伸長化及び大型化を確実に回避するためには、 $0.5 < M a / L < 0.2$ の条件を満足するよ

うに構成されていることが更に好ましい。

また、この実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 は、露光装置に用いられる際に、レンズ L 1 8 とウエハとの間の光路中に、反射屈折投影光学系 P L 1 中の雰囲気屈折率を 1 としたとき、屈折率が約 1.4 である純水を介在させる。従って、純水中での露光光の波長が約 $0.71 (1 / 1.4)$ 倍となるため、解像度を向上させることができる。

また、反射屈折投影光学系 P L 1 に含まれて所定の屈折力を有する全ての光学素子の光軸 A X 1 が実質的に単一直線上に配置されており、反射屈折投影光学系 P L 1 によりウエハ上に形成される像の領域は、光軸 A X 1 を含まない軸外領域である。従って、反射屈折投影光学系 P L 1 を製造する際に製造難易度を軽減することができ、各光学部材の相対的な調整を容易に行なうことができる。

この第 3 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 によれば、第 1 結像光学系 G 1 においてレチクル R 1 の中間像を形成するため、反射屈折投影光学系 P L 1 の開口数を大きくした場合においても、レチクル R 1 側に向かう光束とウエハ側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。また、第 2 結像光学系 G 2 に負の屈折力を有するレンズ群 G 2 1 を備えているため、反射屈折投影光学系 P L 1 の全長を短くすることができ、かつペッツバール条件を満足するための調整を容易に行なうことができる。更に、レンズ群 G 2 1 は、凹面反射ミラー M 3 により拡げられた光束の画角の違いによるばらつきを緩和し、収差の発生を抑制する。従って、解像度を高くするために反射屈折投影光学系 P L 1 のレチクル R 1 側及びウエハ側の開口数を大きくした

場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

次に、図面を参照して、この発明の第4の実施の形態について説明する。第10図は、この発明の第4の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。第4の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系P L 2は、物体側（即ちレチクルR 2側）から順に、第1面に位置するレチクルR 2の中間像を形成する第1結像光学系G 3と、レチクルR 2の中間像を第2面に位置するウエハ（図示せず）上に形成する第2結像光学系G 4とから構成されている。

第1結像光学系G 3は、正の屈折力を有するレンズ群（第4レンズ群または第1群）G 3 1、後述するレンズL 2 4及び2枚の反射ミラーM 2 1, M 2 2により構成されている。レンズ群G 3 1は、レチクルR 2側をテレセントリックとするために機能する。また、第2結像光学系G 4は、後述する2枚の反射ミラーM 2 3, M 2 4、負の屈折力を有するレンズ群（第1レンズ群または第3群）G 4 1、正の屈折力を有するレンズ群（第2レンズ群）G 4 2、開口絞りA S 2、正の屈折力を有するレンズ群（第3レンズ群）G 4 3により構成されている。レンズ群G 4 1は、倍率調整を行なうと共に、反射ミラーM 2 3により広げられた光束の画角の違いによるばらつきを緩和することにより、収差の発生を抑制する。また、レンズ群G 4 2は、発散する光束を収斂させる。また、レンズ群G 4 3は、ウエハ側が大きな開口数を持つように光束の集光を行う。

ここで、レンズ群G 3 1は、物体側（レチクルR 2側）からの光線が通過する順に、平行平板L 2 1、物体側に非球面状に形

成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 2、両凸レンズ L 2 3 により構成されている。両凸レンズ L 2 3 を通過した光束は、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ (負レンズ) L 2 4 を通過し、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた凹面反射ミラー (凹面反射ミラーまたは第 1 反射ミラー) M 2 1 により反射され、再び負メニスカスレンズ L 2 4 を通過し、ウエハ側に非球面状に形成された凸面を向けた凸面反射ミラー (光路分離ミラーまたは第 2 反射ミラー) M 2 2 により反射される。ここで、負メニスカスレンズ L 2 4 は、ペッツバル条件を満足するために機能する。

凸面反射ミラー M 2 2 により反射された光束は、レチクル R 2 側に向かう光束とウエハ側に向かう光束との光路分離を確実にを行うために、第 10 図に示す位置 b にレチクル R 2 の中間像を形成する。ここで、位置 b は、凹面反射ミラー M 2 1 が配置されている光軸 A X 2 を法線とする平面上またはその近傍に位置する。

次に、凸面反射ミラー M 2 2 により反射された光束は、物体側に凹面を向けた凹面反射ミラー (第 1 フィールドミラーまたは第 3 反射ミラー) M 2 3 に入射し、反射屈折投影光学系 P L 2 の光軸 A X 2 に向かう方向に折り曲げられて、凹面反射ミラー M 2 3 により反射される。凹面反射ミラー M 2 3 により反射された光束は、急速に収斂され、ウエハ側に非球面状に形成された凸面を向けた凸面反射ミラー (第 2 フィールドミラーまたは第 4 反射ミラー) M 2 4 により反射され、レンズ群 G 4 1 を構成する両凹レンズ L 2 5 に直接的に入射する。凸面反射ミラー M 2 4 は、凹面反射ミラー M 2 3 により広げられた画角による光束のばらつきを緩和することにより、収差の発生を抑制する。なお、負メニスカス

レンズL 2 4、凹面反射ミラーM 2 1、凸面反射ミラーM 2 2、
凹面反射ミラーM 2 3、凸面反射ミラーM 2 4は、第2群を構成
する。

5 レンズ群G 4 1は、光線が通過する順に、物体側に非球面状に
形成された凹面を向けた両凹レンズL 2 5、ウエハ側に非球面状
に形成された凹面を向けた両凹レンズL 2 6により構成されてい
る。両凹レンズL 2 5及び両凹レンズL 2 6が非球面状のレンズ
面を有することから、反射屈折投影光学系P L 2の像側での大き
な開口数を有しつつ、露光領域内全域で良好な結像性能を得るこ
10 とができる。

また、レンズ群G 4 2は、光線が通過する順に、物体側に非球
面状に形成された凸面を向けた両凸レンズL 2 7、物体側に凸面
を向けた負メニスカスレンズL 2 8、物体側に凹面を向けた正メ
ニスカスレンズL 2 9、ウエハ側に非球面状に形成された凸面を
15 向けた負メニスカスレンズL 3 0により構成されている。また、
レンズ群G 4 3は、光線が通過する順に、物体側に凸面を向けた
正メニスカスレンズL 3 1、物体側に凸面を向けた正メニスカス
レンズL 3 2、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 3 3、
ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレン
20 ズL 3 4、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニ
スカスレンズL 3 5、物体側に凸面を向けた平凸レンズL 3 6に
より構成されている。なお、レンズ群G 4 2、開口絞りA S 2、
レンズ群G 4 3は、第4群を構成する。

また、反射屈折投影光学系P L 2は、反射ミラーM 2 3と開口
25 絞りA S 2との光軸A X 2上における距離をM 2、レチクルR 2
とウエハとの距離をL 2としたとき、 $0.17 < M 2 a / L 2 <$

0.6の条件を満足するように構成されている。 $M2a/L2$ が下限を満足することにより、凹面反射ミラー $M23$ と、レンズ群 $G41$ 及びレンズ群 $G42$ との機械的干渉を回避することができる。また、 $M2a/L2$ が上限を満足することにより、反射屈折投影光学系 $PL2$ の全長の伸長化及び大型化を回避することができる。機械的干渉を確実に回避し、投影光学系の全長の伸長化及び大型化を確実に回避するためには、 $0.5 < M2a/L2 < 0.2$ の条件を満足するように構成されていることが更に好ましい。

また、この実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 $PL2$ は、露光装置に用いられる際に、レンズ $L36$ とウエハとの間の光路中に、反射屈折投影光学系 $PL2$ 中の雰囲気屈折率を1としたとき、屈折率が約1.4である純水を介在させる。従って、純水中での露光光の波長が約 $0.71 (1/1.4)$ 倍となるため、解像度を向上させることができる。

また、反射屈折投影光学系 $PL2$ に含まれて所定の屈折力を有する全ての光学素子の光軸 $AX2$ が実質的に単一直線上に配置されており、反射屈折投影光学系 $PL2$ によりウエハ上に形成される像の領域は、光軸 $AX2$ を含まない軸外領域である。従って、反射屈折投影光学系 $PL2$ を製造する際に製造難易度を軽減することができ、各光学部材の相対的な調整を容易に行なうことができる。

この第4の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 $PL2$ によれば、第1結像光学系 $G3$ においてレチクル $R2$ の中間像を形成するため、反射屈折投影光学系 $PL2$ の開口数を大きくした場合においても、レチクル $R2$ 側に向かう光束とウエハ側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。また、第2

結像光学系 G 4 に負の屈折力を有するレンズ群 G 4 1 を備えているため、反射屈折投影光学系 P L 2 の全長を短くすることができ、かつペッツバル条件を満足するための調整を容易に行なうことができる。更に、レンズ群 G 4 1 は、凹面反射ミラー M 2 3 により
5 り広げられた光束の画角の違いによるばらつきを緩和し、収差の発生を抑制する。従って、解像度を高くするために反射屈折投影光学系 P L 2 のレチクル R 2 側及びウエハ側の開口数を大きくした場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

10 なお、上述の第 3 実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 においては、凸面反射ミラー M 4 により反射された光がレンズ群 G 2 1 に入射するように構成されているが、凸面反射ミラー M 4 とレンズ群 G 2 1 との間に往復レンズを配置させてもよい。この場合においては、凹面反射ミラー M 3 により反射された光は、
15 往復レンズを通過して、凸面反射ミラー M 4 により反射され、再び往復レンズを通過して、レンズ群 G 2 1 に入射する。また、同様に、第 4 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 2 においては、凸面反射ミラー M 2 4 により反射された光がレンズ群 G 4 1 に入射するように構成されているが、凸面反射ミラー M 2 4
20 とレンズ群 G 4 1 との間に往復レンズを配置させてもよい。

また、上述の各実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 1、P L 2 においては、最もウエハ側に位置するレンズとウエハとの間に純水を介在させたが、反射屈折投影光学系 P L 1、P L 2 中の雰囲気
25 の屈折率を 1 としたとき、1.1 より大きい屈折率を有する他の媒質を介在させてもよい。

第 3 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 の諸元の値を示

す。この諸元においては、第 1 1 図に示すように、A は反射屈折投影光学系 P L 1 を構成する光学素子により露光光が遮光されている部分の反射屈折投影光学系 P L 1 の光軸 A X 1 を中心とする半径、B は最大像高の反射屈折投影光学系 P L 1 の光軸 A X 1 を中心とする半径、H は実効露光領域の X 方向に沿った長さ、C は実効露光領域の Y 方向に沿った長さをそれぞれ示している。また、この諸元においては、N A は開口数、d は面間隔、n は屈折率、 λ は中心波長をそれぞれ示している。更に、この諸元においては、M は反射ミラー M 3 と不図示のウエハとの光軸 A X 1 上距離、L はレチクル R 1 とウエハとの距離をそれぞれ示している。

また、第 3 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 の光学部材諸元を表 3 に示す。表 3 の光学部材諸元においては、第 1 カラムの面番号は物体側からの光線進行方向に沿った面の順序、第 2 カラムは各面の曲率半径 (mm)、第 3 カラムは各面の軸上間隔すなわち面間隔 (mm)、第 4 カラムは光学部材の硝材をそれぞれ示している。

また、第 3 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 に用いられている非球面状のレンズ面を持つレンズ及び反射ミラーの非球面係数を表 4 に示す。表 4 の非球面係数においては、第 1 カラムの非球面番号は表 1 の光学部材諸元における面番号と対応している。第 2 カラムは各非球面の曲率 ($1/\text{mm}$)、第 3 カラムは円錐係数 k と 1 2 次の非球面係数、第 4 カラムは 4 次と 1 4 次の非球面係数、第 5 カラムは 6 次と 1 6 次の非球面係数、第 6 カラムは 8 次と 1 8 次の非球面係数、第 7 カラムは 1 0 次と 2 0 次の非球面係数をそれぞれ示している。

なお、第 3 および第 4 実施例において、非球面は上記 (a) 式

で表される。

[第3実施例]

(諸元)

像側NA: 1.20

5 露光エリア: $A = 1.4 \text{ mm}$ $B = 1.8 \text{ mm}$

$H = 26.0 \text{ mm}$ $C = 4 \text{ mm}$

結像倍率: 1/4 倍

中心波長: 193.306 nm

石英屈折率: 1.5603261

10 蛍石屈折率: 1.5014548

液体1屈折率: 1.43664

石英分散 ($dn/d\lambda$): $-1.591 \text{ E} - 6 / \text{pm}$

蛍石分散 ($dn/d\lambda$): $-0.980 \text{ E} - 6 / \text{pm}$

液体1分散 ($dn/d\lambda$): $-2.6 \text{ E} - 6 / \text{pm}$

15 条件式の対応値 $Ma = 374.65 \text{ mm}$ $L = 1400 \text{ mm}$

(表 3)

(光学部材諸元)

	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	媒質
第1面	∞	50.0000	
1:	∞	8.0000	石英ガラス
2:	∞	33.0000	
3:	ASP1	25.0422	石英ガラス
4:	-163.96521	1.0000	
5:	355.31617	60.7391	石英ガラス
6:	-261.84115	1.0000	
7:	277.33354	29.0109	石英ガラス
8:	ASP2	224.5285	
9:	-176.61872	20.0000	石英ガラス
10:	-515.60710	10.4614	
11:	ASP3	-10.4614	反射ミラー
12:	-515.60710	-20.0000	石英ガラス
13:	-176.61872	-204.5285	
14:	ASP4	518.3706	反射ミラー
15:	-517.39842	-241.3807	反射ミラー
16:	-652.07494	171.3807	反射ミラー
17:	ASP5	20.0000	石英ガラス
18:	171.59382	41.4743	
19:	-245.94525	20.0000	石英ガラス
20:	ASP6	95.1415	
21:	ASP7	28.3218	石英ガラス
22:	-273.72261	1.0000	
23:	578.31684	49.6079	石英ガラス
24:	-908.96420	1.0000	
25:	ASP8	23.1140	石英ガラス
26:	-713.30127	1.0000	
27:	1494.96847	33.6453	石英ガラス
28:	-1392.26668	100.2723	
29:	1382.10341	24.7691	石英ガラス
30:	-2944133.03600	5.3079	
31:	∞	6.0869	開口絞り
32:	596.90080	37.1298	石英ガラス
33:	524859.29548	1.0000	
34:	367.83725	41.0495	石英ガラス
35:	1341.09674	1.0000	
36:	180.61255	61.4605	石英ガラス
37:	464.28786	1.0000	
38:	125.76761	49.2685	石英ガラス
39:	ASP9	1.0000	
40:	89.27467	40.3615	石英ガラス
41:	ASP10	1.1254	
42:	79.35451	37.7011	石英ガラス
43:	∞	1.0000	純水
第2面	∞		

(表 4)

(非球面係数)

非球面番号	曲率	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.00714775	0.00000E+00	3.70121E-08	4.46586E-13	1.04583E-17	6.67573E-21
		-5.81072E-25	5.12689E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP2	0.00091632	0.00000E+00	2.33442E-08	-7.41117E-13	5.06507E-17	-4.32871E-21
		1.56850E-25	-1.33250E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP3	-0.00346903	0.00000E+00	-1.67447E-09	-6.49516E-14	-5.93050E-19	-8.10217E-23
		3.21506E-27	-6.92598E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP4	-0.00076630	0.00000E+00	3.06927E-10	4.69465E-14	-6.39759E-19	2.45900E-23
		-8.28832E-28	1.58122E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP5	0.00125662	0.00000E+00	1.03544E-08	-1.28243E-12	-3.97225E-17	-8.03173E-21
		3.90718E-25	1.64002E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP6	0.00507634	0.00000E+00	1.00543E-08	-3.32807E-12	-1.38706E-17	2.64276E-21
		1.41136E-25	-6.70516E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP7	-0.00253727	0.00000E+00	-3.94919E-10	9.50312E-14	-1.02163E-18	-1.22660E-22
		3.11154E-27	-4.99394E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP8	-0.00025661	0.00000E+00	-9.13443E-09	-8.61174E-14	4.52406E-19	-2.29061E-23
		5.86934E-28	-7.10478E-33	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP9	0.00458263	0.00000E+00	2.66745E-08	-3.15468E-13	7.16318E-17	1.41053E-21
		-2.22512E-25	1.68093E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP10	0.01117107	0.00000E+00	2.45701E-07	4.19793E-11	4.83523E-15	2.02242E-18
		-1.59072E-22	1.41579E-25	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

第 1 2 図は、本実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。第 1 2 図において、Y は像高を示し、破線は波長 1 9 3 . 3 0 6 3 n m 、実線は波長 1 9 3 . 3 0 6 0 n m 、一点鎖線は波長 1 9 3 . 3 0 5 7 n m における横収差をそれぞれ示している。第 1 2 図の横収差図に示すように、本実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 は、大きな開口数を有し、かつ大型の光学素子を備えていないにもかかわらず露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されている。

第 4 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 2 の諸元の値を示す。また、第 4 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 2 の光学

部材諸元を表 5 に示す。また、第 4 実施例にかかる反射屈折投影
 光学系 P L 2 に用いられている非球面状のレンズ面を持つレンズ
 及び反射ミラーの非球面係数を表 6 に示す。この諸元、光学部材
 諸元及び非球面係数においては、第 3 実施例にかかる反射屈折投
 影光学系 P L 1 の諸元の説明で用いたのと同じの符号を用いて説
 明を行なう。

[第 4 実施例]

(諸元)

10 像側 N A : 1 . 2 0
 露光エリア : A = 1 3 . 5 m m B = 1 7 . 5 m m
 H = 2 6 . 0 m m C = 4 m m
 結像倍率 : 1 / 5 倍
 中心波長 : 1 9 3 . 3 0 6 n m
 15 石英屈折率 : 1 . 5 6 0 3 2 6 1
 蛍石屈折率 : 1 . 5 0 1 4 5 4 8
 液体 1 屈折率 : 1 . 4 3 6 6 4
 石英分散 (d n / d λ) : - 1 . 5 9 1 E - 6 / p m
 蛍石分散 (d n / d λ) : - 0 . 9 8 0 E - 6 / p m
 20 液体 1 分散 (d n / d λ) : - 2 . 6 E - 6 / p m
 条件式の対応値 M a = 4 2 4 . 8 5 m m L = 1 4 0 0 m m

(表 5)

(光学部材諸元)

	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	媒質
第1面	∞	74.5841	
1:	∞	8.0000	石英ガラス
2:	∞	33.0000	
3:	ASP1	22.9375	石英ガラス
4:	-238.83712	1.0000	
5:	226.68450	59.5357	石英ガラス
6:	-908.69406	202.7480	
7:	-165.20501	20.0000	石英ガラス
8:	-669.93146	45.4417	
9:	ASP2	-45.4417	反射ミラー
10:	-669.93146	-20.0000	石英ガラス
11:	-165.20501	-182.7480	
12:	ASP3	476.5531	反射ミラー
13:	-410.99944	-182.7518	反射ミラー
14:	ASP4	164.9642	反射ミラー
15:	ASP5	28.4827	石英ガラス
16:	239.45495	38.2383	
17:	-497.63245	20.0000	石英ガラス
18:	ASP6	89.6638	
19:	ASP7	48.7904	石英ガラス
20:	-290.43245	1.0000	
21:	1036.93127	60.0000	石英ガラス
22:	1015.63994	19.7285	
23:	-2533.07822	63.4343	石英ガラス
24:	-278.02969	31.4485	
25:	-1388.36824	40.8485	石英ガラス
26:	ASP8	1.0000	
27:	∞	1.0000	開口絞り
28:	479.05778	35.6437	石英ガラス
29:	1637.29836	1.0000	
30:	329.32813	44.1312	石英ガラス
31:	1053.37530	1.0000	
32:	200.35146	57.3982	石英ガラス
33:	515.50441	1.0000	
34:	118.38756	60.5521	石英ガラス
35:	ASP9	1.0000	
36:	81.03425	37.8815	蛍石
37:	ASP10	1.0000	
38:	81.71932	35.7388	蛍石
39:	∞	1.0000	純水
第2面	∞		

(表 6)

(非球面係数)

非球面番号	曲率	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.00388454	0.00000E+00 -3.79672E-26	2.22245E-08 6.22409E-31	1.47956E-13 0.00000E+00	-1.47977E-17 0.00000E+00	1.83827E-21 0.00000E+00
ASP2	-0.00372368	0.00000E+00 4.14849E-26	-1.37639E-09 -2.22906E-30	-9.27463E-14 0.00000E+00	-2.38568E-18 0.00000E+00	-4.78730E-22 0.00000E+00
ASP3	-0.00090790	0.00000E+00 -2.64998E-26	-4.17158E-09 6.12220E-31	1.53090E-13 0.00000E+00	-4.47592E-18 0.00000E+00	4.68099E-22 0.00000E+00
ASP4	-0.00254948	0.00000E+00 1.81493E-27	1.56073E-09 -1.48191E-32	1.95837E-14 0.00000E+00	1.84638E-18 0.00000E+00	-8.80727E-23 0.00000E+00
ASP5	-0.00102929	0.00000E+00 -5.96465E-25	-3.82817E-11 1.20191E-29	1.56504E-13 0.00000E+00	-2.89929E-16 0.00000E+00	1.68400E-20 0.00000E+00
ASP6	0.00541154	0.00000E+00 6.34523E-25	3.81649E-08 -3.45549E-29	-1.10034E-12 0.00000E+00	-3.69090E-16 0.00000E+00	1.33858E-20 0.00000E+00
ASP7	0.00102903	0.00000E+00 -5.49818E-27	-3.14004E-08 -4.97090E-32	2.87908E-13 0.00000E+00	-1.32597E-17 0.00000E+00	2.02315E-22 0.00000E+00
ASP8	-0.00012579	0.00000E+00 -9.40202E-29	-5.21260E-09 5.04787E-34	-2.97679E-14 0.00000E+00	-4.97667E-19 0.00000E+00	1.15081E-23 0.00000E+00
ASP9	0.00403277	0.00000E+00 -4.24581E-26	4.99776E-08 4.81058E-30	-8.99272E-13 0.00000E+00	6.60787E-17 0.00000E+00	4.38434E-22 0.00000E+00
ASP10	0.01060914	0.00000E+00 1.53552E-22	2.60785E-07 4.32477E-26	4.78050E-11 0.00000E+00	5.21548E-15 0.00000E+00	1.26891E-18 0.00000E+00

5 第13図は、本実施例にかかる反射屈折投影光学系PL2のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。第13図において、Yは像高を示し、破線は波長193.3063nm、実線は波長193.3060nm、一点鎖線は波長193.3057nmにおける横収差をそれぞれ示している。

10 第13図の横収差図に示すように、本実施例にかかる反射屈折投影光学系PL2は、大きな開口数を有し、かつ大型の光学素子を備えていないにもかかわらず露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されている。

以下、図面を参照して、この発明の第5の実施の形態について

説明する。第 1 4 図は、この発明の第 5 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。第 5 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 は、物体側（即ちレチクル R 1 側）から順に、第 1 面に位置するレチクル R 1 の第 1 中間像及び第 2 中間像を形成する第 1 結像光学系 G 1 と、レチクル R 1 の第 2 中間像を第 2 面に位置するウエハ（図示せず）上にリレーする第 2 結像光学系 G 2 とから構成されている。

第 1 結像光学系 G 1 は、正の屈折力を有するレンズ群（フィールドレンズ群）G 1 1、後述する 6 枚の反射ミラー M 1 ～M 6 により構成されている。レンズ群 G 1 1 は、ディストーション等を補正するとともに、レチクル R 1 側をテレセントリックとするために機能する。また、レンズ群 G 1 1 の機能により、レチクル R 1 が光軸 A X 1 方向に所望の位置からずれて配置された場合においても、レチクル R 1 の像の大きさが変化しないため、反射屈折投影光学系 P L 1 の性能を高く保つことができる。

また、第 2 結像光学系 G 2 は、全て透過型光学素子により構成されており、正の屈折力を有するレンズ群（第 1 レンズ群）G 2 1、負の屈折力を有するレンズ群（第 2 レンズ群）G 2 2、正の屈折力を有するレンズ群（第 3 レンズ群）G 2 3、開口絞り A S 1、正の屈折力を有するレンズ群（第 4 レンズ群）G 2 4 により構成されている。第 2 結像光学系 G 2 は、全て透過型光学素子により構成されていることから光路分離の負荷を伴わないため、反射屈折投影光学系 P L 1 の像側の開口数を大きくすることができ、高縮小倍率の縮小像を第 2 面に位置するウエハ上に形成することができる。レンズ群 G 2 1 ～G 2 4 は、ペッツバール条件を満足するために有利に機能する。また、レンズ群 G 2 1 ～G 2 4 の構

成により、反射屈折投影光学系 P L 1 の全長の大型化を回避することができる。また、レンズ群 G 2 1 ~ G 2 3 により、コマ収差等の諸収差の補正を行なうことができる。

ここで、レンズ群 G 1 1 は、物体側（レチクル R 1 側）からの
5 光線が通過する順に、平行平板 L 1、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2、両凸レンズ L 3、両凸レンズ L 4 により構成されている。両凸レンズ L 4 を通過した光束は、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた凹面反射ミラー M 1、ウエハ側に非球面状に形成された凸面を向けた凸面
10 反射ミラー M 2、物体側に凹面を向けた凹面反射ミラー M 3 により反射され、第 1 中間像を形成する。反射ミラー M 3 により反射された光束は、ウエハ側に凸面を向けた凸面反射ミラー M 4、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた凹面反射ミラー M 5、ウエハ側に凹面を向けた凹面反射ミラー M 6 により反射される。
15

ここで、光束がレンズを介さずに反射ミラー M 1 ~ M 6 により連続して反射されるため、各反射ミラー M 1 ~ M 6 を調整することによりペッツバル条件を容易に満足させることができる。また、各反射ミラー M 1 ~ M 6 を保持するための領域を確保することができ、各反射ミラー M 1 ~ M 6 の保持を容易に行うことができる。
20 ける。また、各反射ミラー M 1 ~ M 6 の曲率半径を変更することにより、像面湾曲の補正を容易に行うことができる。また、反射ミラー M 6 により反射された光束は、第 2 中間像を形成する。

この場合において、光軸 A X 1 から最も離れた位置に凹面反射ミラー M 3 が配置されており、この凹面反射ミラー M 3 により光
25 束を集光させることができるため、各反射ミラー M 1 ~ M 6 間に

5 レンズを介在させることなく、光束を反射屈折投影光学系 P L 1 の光軸 A X 1 から大きく離すことができ、光束の干渉を回避することができる。また、光束が 4 つの反射ミラー M 3 ~ M 6 により連続して反射されることにより、反射屈折投影光学系 P L 1 の全長の大型化を回避することができる。

10 レンズ群 G 2 1 は、光線が通過する順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 5、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 6、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 7、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 8、物体側に非球面状に形成された凸面を向けた負メニスカスレンズ L 9 により構成されている。また、レンズ群 G 2 2 は、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた両凹レンズ L 1 0 により構成されている。また、レンズ群 G 2 3 は、光線が通過する順に、物体側に非球面状に形成された平面を向けた平凸レンズ L 1 1、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 1 2、両凸レンズ L 1 3、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 4、両凸レンズ L 1 5 により構成されている。

20 また、レンズ群 G 2 4 は、両凸レンズ L 1 6、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 1 7、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1 8、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 1 9、物体側に凸面を向けた平凸レンズ L 2 0 により構成されている。

25 また、反射屈折投影光学系 P L 1 は、反射ミラー M 3 と開口絞り A S 1 との光軸 A X 1 上における距離を M、レチクル R 1 とウエハとの距離を L としたとき、 $0.2 < Mb / L < 0.7$ の条件を満足するように構成されている。Mb / L が下限を超えた場合

には、各諸収差、特にコマ収差を補正するために欠くことができないレンズ群 $G_{21} \sim G_{23}$ を構成する各レンズ $L_5 \sim L_{15}$ を正確な位置に配置し保持することが困難となる。即ち、 M_b/L が下限を満足することにより、凹面反射ミラー M_3 と、レンズ群 $G_{21} \sim G_{23}$ との機械的干渉を回避することができる。また、 M_b/L が上限を満足することにより、反射屈折投影光学系 PL_1 の全長の伸長化及び大型化を回避することができる。各レンズ $L_5 \sim L_{15}$ をより正確に配置し保持し、反射屈折投影光学系 PL_1 の全長の大型化を確実に回避するためには、 $0.25 < M_b/L < 0.6$ の条件を満足するように構成されていることが更に好ましい。

なお、この第5の実施の形態においては、反射ミラー M_3 と反射ミラー M_4 との間に第1中間像が形成されているが、反射ミラー M_2 と反射ミラー M_4 との間の何れかの光路中に第1中間像が形成されればよい。

次に、図面を参照して、この発明の第6の実施の形態について説明する。第15図は、この発明の第6の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。第6の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 PL_2 は、物体側（即ちレチクル R_2 側）から順に、第1面に位置するレチクル R_2 の第1中間像及び第2中間像を形成する第1結像光学系 G_3 と、レチクル R_2 の第2中間像を第2面に位置するウエハ（図示せず）上にリレーする第2結像光学系 G_4 とから構成されている。

第1結像光学系 G_3 は、正の屈折力を有するレンズ群（フィールドレンズ群） G_{31} 、後述するレンズ L_{25} 及び6枚の反射ミラー $M_{11} \sim M_{16}$ により構成されている。レンズ群 G_{31} は、

ディストーション等を補正するとともに、レチクル R 2 側をテレセントリックとするために機能する。また、レンズ群 G 3 1 の機能により、レチクル R 2 が光軸方向に所望の位置からずれて配置された場合においても、レチクル R 2 の像の大きさが変化しないため、反射屈折投影光学系 P L 2 の性能を高く保つことができる。

また、第 2 結像光学系 G 4 は、全て透過型光学素子により構成されており、正の屈折力を有するレンズ群（第 1 レンズ群） G 4 1、負の屈折力を有するレンズ群（第 2 レンズ群） G 4 2、正の屈折力を有するレンズ群（第 3 レンズ群） G 4 3、開口絞り A S 2、正の屈折力を有するレンズ群（第 4 レンズ群） G 4 4 により構成されている。第 2 結像光学系 G 4 は、全て透過型光学素子により構成されていることから光路分離の負荷を伴わないため、反射屈折投影光学系 P L 2 の像側の開口数を大きくすることができ、高縮小倍率の縮小像を第 2 面に位置するウエハ上に形成することができる。レンズ群 G 4 1 ~ G 4 4 は、ペッツバル条件を満足するために有利に機能する。また、レンズ群 G 4 1 ~ G 4 4 の構成により、反射屈折投影光学系 P L 2 の全長の大型化を回避することができる。また、レンズ群 G 4 1 ~ G 4 3 により、コマ収差等の諸収差の補正を行なうことができる。

ここで、レンズ群 G 3 1 は、物体側（レチクル R 2 側）からの光線が通過する順に、平行平板 L 2 1、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 2 2、両凸レンズ L 2 3、両凸レンズ L 2 4 により構成されている。両凸レンズ L 2 4 を通過した光束は、物体側に凹面を向けた負メニスカスレンズ（負レンズ） L 2 5 を通過し、物体側に非球面状に形成された凹面をむけた凹面反射ミラー M 1 1 により反射され、再び負メニ

カスレンズL 2 5を通過する。負メニスカスレンズL 2 5を通過した光束は、ウエハ側に非球面状に形成された凸面を向けた凸面反射ミラーM 1 2により反射されて、第1中間像を形成する。反射ミラーM 1 2により反射された光束は、物体側に凹面を向けた凹面反射ミラーM 1 3、ウエハ側に凸面を向けた凸面反射ミラーM 1 4、物体側に非球面状に形成された凹面を向けた凹面反射ミラーM 1 5、ウエハ側に凹面を向けた凹面反射ミラーM 1 6により反射される。ここで、負メニスカスレンズL 2 5を調整することにより、色収差の補正を容易に行うことができ、かつペッツバル条件を容易に満足させることができる。また、各反射ミラーM 1 1～M 1 6の曲率半径を変更することにより、像面湾曲の補正を容易に行うことができる。また、反射ミラーM 1 6により反射された光束は、第2中間像を形成する。

この場合において、光軸AX 2から最も離れた位置に凹面反射ミラーM 1 3が配置されており、この凹面反射ミラーM 1 3により光束を集光させることができるため、4つの反射ミラーM 1 3～M 1 6間にレンズを介在させことなく、光束を反射屈折投影光学系PL 2の光軸AX 2から大きく離すことができ、光束の干渉を回避することができる。また、光束が4つの反射ミラーM 1 3～M 1 6により連続して反射させることにより、反射屈折投影光学系PL 2の全長の大型化を回避することができる。

レンズ群G 4 1は、光線が通過する順に、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2 6、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズL 2 7、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 2 8、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズL 2 9、物体側に凸面を向けた負

メニスカスレンズ L 3 0 により構成されている。

また、レンズ群 G 4 2 は、ウエハ側を非球面状に形成された両凹レンズ L 3 1 により構成されている。また、レンズ群 G 4 3 は、光線が通過する順に、物体側を非球面状に形成された両凸レンズ L 3 2、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズ L 3 3、両凸レンズ L 3 4、両凸レンズ L 3 5、両凸レンズ L 3 6 により構成されている。また、レンズ群 G 4 4 は、両凸レンズ L 3 7、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズ L 3 8、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 3 9、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズ L 4 0、物体側に凸面を向けた平凸レンズ L 4 1 により構成されている。

また、反射屈折投影光学系 P L 2 は、反射ミラー M 1 3 と開口絞り A S 2 との光軸 A X 2 上における距離を M 2 b、レチクル R 2 とウエハとの距離を L 2 としたとき、 $0.2 < M 2 b / L 2 < 0.7$ の条件を満足するように構成されている。M 2 b / L 2 が下限を超えた場合には、各諸収差、特にコマ収差を補正するために欠くことができないレンズ群 G 4 1 ~ G 4 3 を構成する各レンズ L 2 6 ~ L 3 6 を正確な位置に配置し保持することが困難となる。即ち、M 2 b / L 2 が下限を満足することにより、凹面反射ミラー M 1 3 と、レンズ群 G 4 1 ~ G 4 3 との機械的干渉を回避することができる。また、M 2 b / L 2 が上限を満足することにより、反射屈折投影光学系 P L 2 の全長の伸長化及び大型化を回避することができる。各レンズ L 2 6 ~ L 3 6 をより正確な位置に配置し保持し、反射屈折投影光学系 P L 2 の全長の大型化を確実に回避するためには、 $0.25 < M 2 b / L 2 < 0.6$ の条件

を満足するように構成されていることが更に好ましい。

なお、この第6の実施の形態においては、反射ミラーM12と
反射ミラーM13との間に第1中間像が形成されているが、反射
ミラーM12と反射ミラーM14との間の何れかの光路中に第1
5 中間像が形成されればよい。

次に、図面を参照して、この発明の第7の実施の形態について
説明する。第16図は、この発明の第7の実施の形態にかかる反
射屈折投影光学系のレンズ構成を示す図である。第7の実施の形
態にかかる反射屈折投影光学系PL3は、物体側（即ちレチクル
10 R3側）から順に、第1面に位置するレチクルR3の第1中間像
及び第2中間像を形成する第1結像光学系G5と、レチクルR3
の第2中間像を第2面に位置するウエハ（図示せず）上にリレー
する第2結像光学系G6とから構成されている。

第1結像光学系G5は、正の屈折力を有するレンズ群（フィー
ルドレンズ群）G51、後述する6枚の反射ミラーM21～M2
15 6により構成されている。レンズ群G51は、ディストーション
等を補正するとともに、レチクルR2側をテレセントリックとす
るために機能する。また、レンズ群G51の機能により、レチク
ルR3が光軸AX3方向に所望の位置からずれて配置された場合
20 においても、レチクルR3の像の大きさが変化しないため、反射
屈折投影光学系PL3の性能を高く保つことができる。

また、第2結像光学系G6は、全て透過型光学素子により構成
されており、正の屈折力

を有するレンズ群（第1レンズ群）G61、負の屈折力を有する
25 レンズ群（第2レンズ群）G62、正の屈折力を有するレンズ群
（第3レンズ群）G63、開口絞りAS3、正の屈折力を有する

5 レンズ群（第4レンズ群）G 6 4により構成されている。第2結
像光学系G 6は、全て透過型光学素子により構成されていること
から光路分離の負荷を伴わないため、反射屈折投影光学系P L 3
の像側の開口数を大きくすることができ、高縮小倍率の縮小像を
10 第2面に位置するウエハ上に形成することができる。レンズ群G
6 1～G 6 4は、ペッツパール条件を満足するために有利に機能
する。また、レンズ群G 6 1～G 6 4の構成により、反射屈折投
影光学系P L 3の全長の大型化を回避することができる。また、
15 レンズ群G 6 1～G 6 3により、コマ収差等の諸収差の補正を行
うことができる。

ここで、レンズ群G 5 1は、物体側（レチクルR 3側）からの
光線が通過する順に、平行平板L 5 1、物体側に非球面状に形
成された凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 2、両凸レンズL
5 3、両凸レンズL 5 4により構成されている。両凸レンズL 5
15 4を通過した光束は、物体側に非球面状に形成された凹面を向け
た凹面反射ミラーM 2 1、ウエハ側に非球面状に形成された凸面
を向けた凸面反射ミラーM 2 2、物体側に凹面を向けた凹面反射
ミラーM 2 3により反射され、第1中間像を形成する。反射ミラ
ーM 2 3により反射された光束は、ウエハ側に凸面を向けた凸面
20 反射ミラーM 2 4、物体側に非球面状に形成された凸面を向けた
凸面反射ミラーM 2 5、ウエハ側に凹面を向けた凹面反射ミラー
M 2 6により反射される。

ここで、光束がレンズを介さずに反射ミラーM 2 1～M 2 6に
より連続して反射されるため、各反射ミラーM 2 1～M 2 6を調
25 整することによりペッツパール条件を容易に満足させることがで
きる。また、各反射ミラーM 2 1～M 2 6を保持するための領域

を確保することができ、各反射ミラーM 2 1 ~ M 2 6 の曲率半径を変更することにより、像面湾曲の補正を容易に行うことができる。また、反射ミラーM 2 6 により反射された光束は、第2中間像を形成する。

5 この場合において、光軸A X 3 から最も離れた位置に凹面反射ミラーM 2 3 が配置されており、この凹面反射ミラーM 2 3 により光束を集光させることができるため、各反射ミラーM 2 1 ~ M 2 6 間にレンズを介在させることなく、光束を反射屈折投影光学系P L 3 の光軸A X 3 から大きく離すことができ、光束の干渉を
10 回避することができる。また、光束が4つの反射ミラーM 2 3 ~ M 2 6 により連続して反射されることにより、反射屈折投影光学系P L 3 の全長の大型化を回避することができる。

 レンズ群G 6 1 は、光線が通過する順に、両凸レンズL 5 5、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズL 5 6、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 5 7、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 5 8、物体側に非球面形状に形成された凸面を向けた負メニスカスレンズL 5 9より構成されている。また、レンズ群G 6 2 は、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた両凹レンズL 6 0により構成されている。
15 また、レンズ群G 6 3 は、光線が通過する順に、物体側に非球面状に形成された凸面を向けた両凸レンズL 6 1、物体側に凸面を向けた負メニスカスレンズL 6 2、両凸レンズL 6 3、両凸レンズL 6 4、物体側に凹面を向けた正メニスカスレンズL 6 5により構成されている。
20 また、レンズ群G 6 4 は、光線が通過する順に、両凸レンズL 6 6、物体側に凸面を向けた正メニスカスレンズL 6 7、ウエハ

側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズL 6 8、ウエハ側に非球面状に形成された凹面を向けた正メニスカスレンズL 6 9、物体側に凸面を向けた平凸レンズL 7 0により構成されている。

5 また、反射屈折投影光学系P L 3は、反射ミラーM 2 3と開口絞りA S 3との光軸A X 3上における距離をM 3、レチクルR 3とウエハとの距離をL 3としたとき、 $0.2 < M 3 / L 3 < 0.7$ の条件を満足するように構成されている。M 3 / L 3が下限を超えた場合には、各諸収差、特にコマ収差を補正するために欠く
10 ことができないレンズ群G 6 1～G 6 3を構成する各レンズL 5 5～L 6 5を正確な位置に配置し保持することが困難となる。即ち、M 3 / L 3が下限を満足することにより、凹面反射ミラーM 2 3と、レンズ群G 6 1～G 6 3との機械的干渉を回避することができる。また、M 3 / L 3が上限を満足することにより、反射
15 屈折投影光学系P L 3の全長の伸長化及び大型化を回避することができる。各レンズL 5 5～L 7 0をより正確な位置に配置し保持し、反射屈折投影光学系P L 3の全長の大型化を確実に回避するためには、 $0.25 < M 3 / L 3 < 0.6$ の条件を満足するように構成されていることが更に好ましい。

20 なお、この第7の実施の形態においては、反射ミラーM 2 3と反射ミラーM 2 4との間に第1中間像が形成されているが、反射ミラーM 2 2と反射ミラーM 2 4との間の何れかの光路中に第1中間像が形成されればよい。

25 また、第5乃至第7の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系P L 1～P L 3は、露光装置に用いられる際に、平凸レンズL 2 0、L 4 1、L 7 0とウエハとの間の光路中に、反射屈折投影光

学系 P L 1 ~ P L 3 中の雰囲気の屈折率を 1 としたとき、屈折率が約 1.4 である純水（脱イオン水）を介在させる。従って、純水中での露光光の波長が約 0.71 ($1 / 1.4$) 倍となるため、解像度を向上させることができる。

5 また、反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 に含まれて所定の屈折力を有する全ての光学素子の光軸 A X 1 ~ A X 3 が実質的に単一直線上に配置されており、且つ反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 によりウエハ上に形成される像の領域は、光軸 A X 1 ~ A X 3 を含まない軸外領域である。従って、反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 を製造する際に製造難易度を軽減することができ、各
10 光学素子の相対的な調整を容易に行うことができる。

 この第 5 乃至第 7 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 によれば、6 つの反射ミラー M 1 ~ M 6、M 1 1 ~ M 1 6、M 2 1 ~ M 2 6 が含まれているため、解像度を高くするために反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 のレチクル R 1 ~ R 3
15 側及びウエハ側の開口数を大きくした場合においても、反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 の全長を長くすることなく、レチクル R 1 ~ R 3 側に向かう光束とウエハ側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。

20 また、第 5 乃至第 7 の実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 によれば、第 1 中間像及び第 2 中間像を形成する 3 回結像光学系であることから、第 1 中間像はレチクル R 1 ~ R 3 の倒立像、第 2 中間像はレチクル R 1 ~ R 3 の正立像、ウエハ上に形成される像は倒立像となる。従って、この反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 を露光装置に搭載し、レチクル R 1 ~ R 3 と
25 ウエハとを走査して露光を行う場合に、レチクル R 1 ~ R 3 の走

査方向とウエハの走査方向を逆方向とすることができ、露光装置全体の重心の変化が小さくなるように容易に調整することができる。また、露光装置全体の重心が変化することにより生じる反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 の振動を軽減することができ、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

また、上述の各実施の形態にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 においては、最もウエハ側に位置するレンズとウエハとの間に純水（脱イオン水）を介在させたが、反射屈折投影光学系 P L 1 ~ P L 3 中の雰囲気屈折率を 1 としたとき、1 より大きい屈折率を有する他の媒質を介在させてもよい。

次に、第 1 4 図に示した第 5 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 の諸元の値を示す。この諸元においては、上述した第 1 1 図に示したように、A は反射屈折投影光学系 P L 1 を構成する光学素子により露光光が遮光されている部分の反射屈折投影光学系 P L 1 の光軸 A X 1 を中心とする半径、B は最大像高の反射屈折投影光学系 P L 1 の光軸 A X 1 を中心とする半径、H は実効露光領域の X 方向に沿った長さ、C は実効露光領域の Y 方向に沿った長さをそれぞれ示している。また、この諸元においては、N A は開口数、d は面間隔、n は屈折率、 λ は中心波長をそれぞれ示している。更に、この諸元においては、M は凹面反射ミラー M 3 と不図示のウエハとの光軸 A X 1 上距離、L はレチクル R 1 とウエハとの距離をそれぞれ示している。

また、第 5 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 の光学部材諸元を表 7 に示す。表 7 の光学部材諸元においては、第 1 カラムの面番号は物体側からの光線進行方向に沿った面の順序、第 2 カラムは各面の曲率半径 (mm)、第 3 カラムは各面の軸上間隔す

なわち面間隔 (mm)、第 4 カラムは光学部材の硝材をそれぞれ示している。

また、第 5 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 に用いられている非球面状のレンズ面を持つレンズ及び反射ミラーの非球面係数を表 8 に示す。表 8 の非球面係数においては、第 1 カラムの非球面番号は表 1 の光学部材諸元における面番号と対応している。第 2 カラムは各非球面の曲率 ($1/\text{mm}$)、第 3 カラムは円錐係数 k と 1 2 次の非球面係数、第 4 カラムは 4 次と 1 4 次の非球面係数、第 5 カラムは 6 次と 1 6 次の非球面係数、第 6 カラムは 8 次と 1 8 次の非球面係数、第 7 カラムは 1 0 次と 2 0 次の非球面係数をそれぞれ示している。

なお、第 5 ～ 第 7 実施例においても、非球面は上述した (a) 式で表される。

[第 5 実施例]

(諸元)

像側 N A : 1 . 2 0

露光エリア : $A = 1.4 \text{ mm}$ $B = 1.8 \text{ mm}$

$H = 26.0 \text{ mm}$ $C = 4 \text{ mm}$

結像倍率 : $1/4$ 倍

中心波長 : 193.306 nm

石英屈折率 : 1 . 5 6 0 3 2 6 1

蛍石屈折率 : 1 . 5 0 1 4 5 4 8

液体 1 屈折率 : 1 . 4 3 6 6 4

石英分散 ($dn/d\lambda$) : $-1.591 \times 10^{-6}/\text{pm}$

蛍石分散 ($dn/d\lambda$) : $-0.980 \times 10^{-6}/\text{pm}$

純水（脱イオン水）分散（ $d n / d \lambda$ ）： $-2.6 \times 10^{-6} / p$
m

条件式の対応値 $M b = 524.49 \text{ mm}$. $L = 1400 \text{ mm}$

(表 7) (光学部材諸元)

	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	硝材名
第1面	∞	45.0000	
1:	∞	8.0000	石英ガラス
2:	∞	9.4878	
3:	ASP1	25.3802	石英ガラス
4:	-244.04741	1.9583	
5:	2654.01531	49.2092	石英ガラス
6:	-159.85154	1.1545	
7:	294.54453	34.3095	石英ガラス
8:	-572.08259	156.2051	
9:	ASP2	-136.2051	反射ミラー
10:	ASP3	412.6346	反射ミラー
11:	-418.20026	-205.0204	反射ミラー
12:	-604.04130	160.2153	反射ミラー
13:	ASP4	-211.6245	反射ミラー
14:	320.60531	226.6245	反射ミラー
15:	224.13260	25.2194	石英ガラス
16:	346.75878	1.0000	
17:	215.47954	34.3600	石英ガラス
18:	ASP5	1.0000	
19:	266.87857	19.9995	石英ガラス
20:	329.19442	1.0000	
21:	196.43240	20.0000	石英ガラス
22:	115.87410	6.4756	
23:	ASP6	39.3045	石英ガラス
24:	99.87482	55.9109	
25:	-412.64757	24.7282	石英ガラス
26:	ASP7	94.8545	
27:	ASP8	57.3966	石英ガラス
28:	-227.16104	1.0000	
29:	504.83819	20.0000	石英ガラス
30:	407.86902	12.3535	
31:	595.98854	43.0398	石英ガラス
32:	-2001.40538	1.0000	
33:	711.19871	32.6046	石英ガラス
34:	8598.79354	32.0466	
35:	36209.93141	30.0000	石英ガラス
36:	-1731.78793	1.0000	
37:	∞	12.6069	開口絞り
38:	503.84491	53.3626	石英ガラス
39:	-1088.61181	1.0000	
40:	192.53858	61.7603	石英ガラス
41:	521.19424	1.0000	
42:	122.79200	59.8433	石英ガラス
43:	ASP9	1.0000	
44:	79.97315	39.6326	蛍石
45:	ASP10	1.0000	
46:	84.68828	36.1715	蛍石
47:	∞	1.0000	純水
第2面	∞	0.0000	

(表 8)

(非球面係数)

非球面番号	曲率	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.00059023	0.00000E+00	-2.87641E-08	-1.70437E-11	2.46285E-15	-2.74317E-19
		2.07022E-23	-7.79530E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP2	-0.00205780	0.00000E+00	2.50612E-09	2.95240E-14	4.37607E-18	-5.55238E-22
		3.88749E-26	-1.13016E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP3	-0.00058562	0.00000E+00	-6.92554E-09	1.39659E-13	-1.09871E-18	3.37519E-23
		-1.45573E-27	2.27951E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP4	-0.00123249	0.00000E+00	1.93713E-09	1.07185E-12	-3.34552E-16	3.54315E-20
		-5.95219E-24	3.41899E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP5	0.00020189	0.00000E+00	1.37544E-07	-1.06394E-11	7.70843E-17	4.90298E-20
		-3.23126E-24	6.76814E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP6	0.00588235	0.00000E+00	2.41559E-07	-1.03766E-11	-6.75114E-17	1.11214E-19
		-9.45408E-24	3.57981E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP7	0.00664255	0.00000E+00	2.62150E-08	-9.25480E-12	-1.77845E-16	5.60675E-20
		-2.81549E-24	6.89450E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP8	0.00000000	0.00000E+00	-1.26430E-08	1.64939E-13	-6.24373E-18	2.07576E-22
		-5.07100E-27	1.49848E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP9	0.00345726	0.00000E+00	5.92282E-08	-1.56640E-12	1.38582E-16	-4.07966E-21
		1.49819E-25	1.10869E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP10	0.01038095	0.00000E+00	2.42802E-07	4.29662E-11	1.62230E-15	6.50272E-19
		3.23667E-22	-9.21777E-26	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

第 17 図は、本実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。第 17 図において、Y は像高を示し、破線は波長 193.3063 nm、実線は波長 193.3060 nm、一点鎖線は波長 193.3057 nm における横収差をそれぞれ示している。第 17 図の横収差図に示すように、本実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 は、大きな開口数を有し、かつ大型の光学素子を備えていないにもかかわらず露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されている。

次に、第 15 図に示した第 6 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 2 の諸元を示す。また、第 6 実施例にかかる反射屈折投影

光学系 P L 2 の光学部材諸元を表 9 に示す。また、第 6 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 2 に用いられている非球面状のレンズ面を持つレンズ及び反射ミラーの非球面係数を表 10 に示す。この諸元、光学部材諸元及び非球面係数においては、第 5 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 の説明で用いたのと同じの符号を用いて説明を行なう。

[第 6 実施例]

(諸元)

10 像側 N A : 1 . 2 0

露光エリア : A = 1 3 m m B = 1 7 m m

H = 2 6 . 0 m m C = 4 m m

結像倍率 : 1 / 4 倍

中心波長 : 1 9 3 . 3 0 6 n m

15 石英屈折率 : 1 . 5 6 0 3 2 6 1

蛍石屈折率 : 1 . 5 0 1 4 5 4 8

液体 1 屈折率 : 1 . 4 3 6 6 4

石英分散 (d n / d λ) : - 1 . 5 9 1 × 1 0 ⁻⁶ / p m

蛍石分散 (d n / d λ) : - 0 . 9 8 0 × 1 0 ⁻⁶ / p m

20 純水 (脱イオン水) 分散 (d n / d λ) : - 2 . 6 × 1 0 ⁻⁶ / p m

条件式の対応値 M b = 4 8 2 . 1 4 m m L = 1 4 0 0 m m

(表 9) (光学部材諸元)

	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	硝材名
第1面	∞	50.9535	
1:	∞	8.0000	石英ガラス
2:	∞	12.7478	
3:	ASP1	32.5506	石英ガラス
4:	-184.43053	1.0000	
5:	532.87681	45.9762	石英ガラス
6:	-271.53626	1.3173	
7:	374.46315	38.0103	石英ガラス
8:	-361.42951	147.1771	
9:	-389.08052	20.0000	石英ガラス
10:	-594.49774	5.5356	
11:	ASP2	-5.5356	反射ミラー
12:	-594.49774	-20.0000	石英ガラス
13:	-389.08052	-127.0301	
14:	ASP3	430.8932	反射ミラー
15:	-450.43913	-215.6393	反射ミラー
16:	-704.67689	163.6952	反射ミラー
17:	ASP4	-206.3833	反射ミラー
18:	317.07489	228.3275	反射ミラー
19:	248.60032	30.8186	石英ガラス
20:	964.03405	1.0000	
21:	170.07823	20.0000	石英ガラス
22:	ASP5	1.0778	
23:	174.13726	29.8902	石英ガラス
24:	294.93424	1.0798	
25:	160.77849	33.1276	石英ガラス
26:	ASP6	9.4275	
27:	1185.57325	20.0000	石英ガラス
28:	103.90360	46.9708	
29:	-676.67026	24.5184	石英ガラス
30:	ASP7	83.5410	
31:	ASP8	47.4275	石英ガラス
32:	-317.19307	1.0000	
33:	688.27957	20.0000	石英ガラス
34:	513.64357	11.2866	
35:	883.25368	40.1774	石英ガラス
36:	-959.41738	1.0000	
37:	1222.93397	34.5841	石英ガラス
38:	-1403.11949	16.9031	
39:	2169.40706	37.3055	石英ガラス
40:	-889.78387	1.0000	
41:	∞	9.8461	開口絞り
42:	458.32781	52.3568	石英ガラス
43:	-1741.66958	1.0000	
44:	215.86566	59.3939	石英ガラス
45:	659.70674	1.0000	
46:	134.64784	58.8510	石英ガラス
47:	ASP9	1.0004	
48:	96.99608	49.9011	石英ガラス
49:	ASP10	1.0194	
50:	80.22245	40.8996	石英ガラス
51:	∞	1.0000	純水
第2面	∞		

(表 10)

(非球面係数)

非球面番号	曲率	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.00057910	0.00000E+00	-9.03366E-08	3.28394E-12	-4.06402E-16	2.52900E-20
		-9.19294E-25	2.02082E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP2	-0.00243076	0.00000E+00	3.35976E-09	2.88286E-14	8.73468E-18	-7.00411E-22
		4.21327E-26	-9.88714E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP3	-0.00032257	0.00000E+00	-6.53400E-09	1.15038E-13	-9.61655E-19	8.51651E-23
		-3.17817E-27	4.60017E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP4	-0.00058501	0.00000E+00	2.54270E-09	6.81523E-13	-1.08474E-16	6.27615E-21
		-7.45415E-25	6.45741E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP5	0.00574270	0.00000E+00	2.69000E-08	-1.93073E-12	-2.23058E-16	2.03519E-20
		-2.27002E-24	8.48621E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP6	0.00281530	0.00000E+00	-7.99356E-08	1.14147E-11	-4.87397E-16	6.76022E-20
		-3.55808E-24	1.84260E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP7	0.00667798	0.00000E+00	-1.01256E-08	-5.60515E-12	-6.85243E-17	2.18957E-20
		-1.24639E-24	-1.61382E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP8	0.00000970	0.00000E+00	-1.68383E-08	1.90215E-13	-8.11478E-18	3.37339E-22
		-1.15048E-26	5.21646E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP9	0.00313892	0.00000E+00	4.21089E-08	-8.07510E-13	5.31944E-17	-4.15094E-22
		-5.28946E-27	1.60653E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP10	0.00959788	0.00000E+00	2.16924E-07	3.52791E-11	1.11831E-15	1.12987E-18
		-4.81835E-23	1.62262E-26	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

第 18 図は、本実施例にかかる反射屈折投影光学系 PL2 のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。第 18 図において、Y は像高を示し、破線は波長 193.3063 nm、実線は波長 193.3060 nm、一点鎖線は波長 193.3057 nm をそれぞれ示している。第 18 図の横収差図に示すように、本実施例にかかる反射屈折投影光学系 PL2 は、大きな開口数を有し、かつ大型の光学素子を備えていないにもかかわらず露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されている。

次に、第 16 図に示した第 7 実施例にかかる反射屈折投影光学系 PL3 の諸元の値を示す。また、第 7 実施例にかかる反射屈折

投影光学系 P L 3 の光学部材諸元を表 1 1 に示す。また、第 7 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 3 に用いられている非球面状のレンズ面を持つレンズ及び反射ミラーの非球面係数を表 1 2 に示す。この諸元、光学部材諸元及び非球面係数においては、第 5 実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 1 の説明で用いたのと同じの符号を用いて説明を行なう。

[第 7 実施例]

(諸元)

像側 N A : 1 . 2 0

露光エリア : A = 1 3 m m B = 1 7 m m

H = 2 6 . 0 m m C = 4 m m

結像倍率 : 1 / 5 倍

中心波長 : 1 9 3 . 3 0 6 n m

石英屈折率 : 1 . 5 6 0 3 2 6 1

蛍石屈折率 : 1 . 5 0 1 4 5 4 8

液体 1 屈折率 : 1 . 4 3 6 6 4

石英分散 (d n / d λ) : - 1 . 5 9 1 × 1 0 ⁻⁶ / p m

蛍石分散 (d n / d λ) : - 0 . 9 8 0 × 1 0 ⁻⁶ / p m

純水 (脱イオン水) 分散 (d n / d λ) : - 2 . 6 × 1 0 ⁻⁶ / p m

条件式 M b = 5 0 8 . 8 6 m m L = 1 4 0 0 m m

(表 1 1)

(光学部材諸元)

	曲率半径(mm)	面間隔(mm)	硝材名
第1面	∞	63.0159	
1:	∞	8.0000	石英ガラス
2:	∞	11.6805	
3:	ASP1	30.7011	石英ガラス
4:	-244.82575	1.0000	
5:	520.72375	50.6283	石英ガラス
6:	-283.00136	1.0000	
7:	455.76731	37.0794	石英ガラス
8:	-509.23840	143.7025	
9:	ASP2	-123.7025	反射ミラー
10:	ASP3	394.2980	反射ミラー
11:	-398.57468	-201.7192	反射ミラー
12:	-485.11237	157.8027	反射ミラー
13:	ASP4	-206.6789	反射ミラー
14:	329.37813	221.6789	反射ミラー
15:	411.95851	28.1592	石英ガラス
16:	-3890.38387	1.1778	
17:	141.65647	33.4870	石英ガラス
18:	ASP5	1.0000	
19:	216.09570	28.6534	石英ガラス
20:	461.77835	1.0000	
21:	202.12479	20.2182	石英ガラス
22:	117.79321	2.6054	
23:	ASP6	20.0000	石英ガラス
24:	98.31887	51.9992	
25:	-251.39135	35.2622	石英ガラス
26:	ASP7	89.1855	
27:	ASP8	42.0591	石英ガラス
28:	-303.33648	2.1164	
29:	606.18864	28.5148	石英ガラス
30:	488.85229	11.9006	
31:	811.09260	45.2273	石英ガラス
32:	-813.38538	1.0000	
33:	1012.41934	42.1336	石英ガラス
34:	-973.64830	21.5611	
35:	-32382.97410	29.5159	石英ガラス
36:	-1075.05682	1.0000	
37:	∞	6.3302	開口絞り
38:	371.59007	56.0505	石英ガラス
39:	-4689.87645	9.3746	
40:	204.82419	53.7618	石英ガラス
41:	494.59116	1.0000	
42:	125.95227	57.4813	石英ガラス
43:	ASP9	1.0101	
44:	92.58526	43.4772	石英ガラス
45:	ASP10	1.0360	
46:	85.28679	42.2466	石英ガラス
47:	∞	1.0000	純水
第2面	∞		

(表 1 2)

(非球面係数)

非球面番号	曲率	k	c4	c6	c8	c10
		c12	c14	c16	c18	c20
ASP1	-0.0004476	0.00000E+00	-6.28600E-08	2.01003E-12	-1.86171E-16	4.72866E-21
		4.25382E-26	-8.36739E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP2	-0.0019308	0.00000E+00	5.30847E-09	2.32487E-13	-9.96057E-18	1.35214E-21
		-9.28498E-26	2.73795E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP3	0.0000635	0.00000E+00	-1.46917E-08	2.39879E-13	1.88016E-18	-1.08670E-22
		1.55922E-27	-1.05341E-32	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP4	-0.0009742	0.00000E+00	2.25661E-09	8.15504E-13	-1.75777E-16	1.64720E-20
		-2.44697E-24	2.57932E-28	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP5	0.0045455	0.00000E+00	7.76937E-08	-8.42991E-12	3.25677E-16	8.77802E-23
		-2.71916E-25	-2.25230E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP6	0.0078125	0.00000E+00	1.83201E-07	-2.17156E-11	1.87637E-15	-2.53394E-19
		1.70711E-23	-1.55669E-27	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP7	0.0063619	0.00000E+00	3.50299E-09	-5.60629E-12	-2.85922E-18	2.57458E-20
		-2.26908E-24	3.14291E-29	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP8	0.0001516	0.00000E+00	-1.73728E-08	2.07225E-13	-7.88040E-18	2.99860E-22
		-9.28797E-27	3.18623E-31	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP9	0.0037449	0.00000E+00	4.54024E-08	-8.98172E-13	6.42893E-17	5.94025E-22
		-6.11068E-26	4.37709E-30	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00
ASP10	0.0093466	0.00000E+00	2.17665E-07	2.75156E-11	1.89892E-15	3.45960E-19
		7.23960E-23	-1.19099E-26	0.00000E+00	0.00000E+00	0.00000E+00

第 1 9 図は、本実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 3 のメリジオナル方向及びサジタル方向における横収差を示す横収差図である。第 1 9 図において、Y は像高を示し、破線は波長 1 9 3 . 3 0 6 3 n m 、実線は波長 1 9 3 . 3 0 6 0 n m 、一点鎖線は波長 1 9 3 . 3 0 5 7 n m をそれぞれ示している。第 1 9 図の横収差図に示すように、本実施例にかかる反射屈折投影光学系 P L 3 は、大きな開口数を有し、かつ大型の光学素子を備えていないにもかかわらず露光領域の全てにおいて、収差がバランス良く補正されている。

上述の各実施例にかかる投影光学系は、何れも図 1 に示した投影露光装置に適用することが可能である。図 1 に示した投影露光

装置によれば、投影光学系 P L とウエハ W との間に露光光に対して屈折率が約 1.4 の純水を介在させているため、ウエハ W 側の実効的開口数を 1.0 以上に高めることができ、解像度を高くすることができる。また、図 1 に示した投影露光装置によれば、上述の各実施形態にかかる反射屈折投影光学系により構成される投影光学系 P L を備えているため、レチクル側及びウエハ側の開口数を大きくした場合においても、投影光学系 P L 内においてレチクル側に向かう光束とウエハ側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。従って、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができ、微細なパターンを良好に露光することができる。

なお、図 1 に示した投影露光装置においては、露光光として ArF エキシマレーザ光を用いているため、液浸露光用の液体として純水が供給される。純水は、半導体製造工場等で容易に大量に入手できるとともに、基板（ウエハ）W 上のフォトレジストや光学素子（レンズ）等に対する悪影響がない利点がある。また、純水は環境に対する悪影響がないとともに、不純物の含有量が極めて低いため、ウエハ W の表面及び投影光学系 P L の先端面に設けられている光学素子の表面を洗浄する作用も期待できる。

波長が 193 nm 程度の露光光に対する純水（水）の屈折率 n はほぼ 1.44 といわれている。露光光の光源として ArF エキシマレーザ光（波長 193 nm）を用いた場合、基板上では $1/n$ 、即ち約 134 nm に短波長化されて高い解像度が得られる。更に、焦点深度は空気中に比べて約 n 倍、即ち約 1.44 倍に拡大される。

また、液体としては、露光光に対して屈折率が 1.1 より大き

い他の媒質を使用することも可能である。この場合において、液体としては、露光光に対する透過性があるだけ屈折率が高く、投影光学系 P L やウエハ W 表面に塗布されているフォトレジストに対して安定なものを用いるとよい。

5 また、露光光として F₂ レーザ光を用いる場合は、液体としては F₂ レーザ光を透過可能な例えばフッ素系オイルや過フッ化ポリエーテル (P F P E) 等のフッ素系の液体を用いればよい。

10 また、本発明は、特開平 1 0 - 1 6 3 0 9 9 号公報、特開平 1 0 - 2 1 4 7 8 3 号公報、特表 2 0 0 0 - 5 0 5 9 5 8 号公報等
に開示されているように、ウエハ等の被処理基板を別々に載置して X Y 方向に独立に移動可能な 2 つのステージを備えたツインステージ型の露光装置にも適用できる。

15 なお、上述したように液浸法を用いた場合には、投影光学系 P L の開口数 (N A) が 0 . 9 ~ 1 . 3 になることもある。このように投影光学系 P L の開口数 (N A) が大きくなる場合には、従来から露光光として用いられているランダム偏光光では偏光効果によって結像性能が悪化することもあるので、偏光照明を用いるのが望ましい。その場合、レチクル (マスク) R のライン・アンド・スペースパターンのラインパターンの長手方向に合わせた直
20 線偏光照明を行い、レチクル (マスク) R のパターンからは、S 偏光成分 (ラインパターンの長手方向に沿った偏光方向成分) の回折光が多く射出されるようにするとよい。投影光学系 P L とウエハ W 表面に塗布されたレジストとの間が液体で満たされている
25 場合、投影光学系 P L とウエハ W 表面に塗布されたレジストとの間が空気 (気体) で満たされている場合に比べて、コントラストの向上に寄与する S 偏光成分の回折光のレジスト表面での透過率

が高くなるため、投影光学系 P L の開口数 (N A) が 1. 0 を超えるような場合でも高い結像性能を得ることができる。また、位相シフトマスクや特開平 6 - 1 8 8 1 6 9 号に開示されているようなラインパターンの長手方向に合わせた斜入射照明法（特にダイポール照明法）などを適宜組み合わせるとより効果的である。

上述の実施形態の露光装置では、照明装置によってレチクル（マスク）を照明し（照明工程）、投影光学系を用いてマスクに形成された転写用のパターンを感光性基板に露光する（露光工程）ことにより、マイクロデバイス（半導体素子、撮像素子、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド等）を製造することができる。以下、本実施形態の露光装置を用いて感光性基板としてのウェハ等に所定の回路パターンを形成することによって、マイクロデバイスとしての半導体デバイスを得る際の手法の一例につき図 9 のフローチャートを参照して説明する。

まず、第 2 0 図のステップ 3 0 1 において、1 ロットのウェハ上に金属膜が蒸着される。次のステップ 3 0 2 において、その 1 ロットのウェハ上の金属膜上にフォトレジストが塗布される。その後、ステップ 3 0 3 において、本実施形態の露光装置を用いて、マスク上のパターンの像がその投影光学系を介して、その 1 ロットのウェハ上の各ショット領域に順次露光転写される。その後、ステップ 3 0 4 において、その 1 ロットのウェハ上のフォトレジストの現像が行われた後、ステップ 3 0 5 において、その 1 ロットのウェハ上でレジストパターンをマスクとしてエッチングを行うことによって、マスク上のパターンに対応する回路パターンが、各ウェハ上の各ショット領域に形成される。

その後、更に上のレイヤの回路パターンの形成等を行うことに

よって、半導体素子等のデバイスが製造される。上述の半導体デバイス製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する半導体デバイスをスループット良く得ることができる。なお、ステップ301～ステップ305では、ウェハ上に金属を蒸着し、その金属膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチングの各工程を行っているが、これらの工程に先立って、ウェハ上にシリコンの酸化膜を形成後、そのシリコンの酸化膜上にレジストを塗布、そして露光、現像、エッチング等の各工程を行っても良いことはいうまでもない。

また、本実施形態の露光装置では、プレート（ガラス基板）上に所定のパターン（回路パターン、電極パターン等）を形成することによって、マイクロデバイスとしての液晶表示素子を得ることもできる。以下、第21図のフローチャートを参照して、このときの手法の一例につき説明する。第21図において、パターン形成工程401では、本実施形態の露光装置を用いてマスクのパターンを感光性基板（レジストが塗布されたガラス基板等）に転写露光する、所謂光リソグラフィ工程が実行される。この光リソグラフィ工程によって、感光性基板上には多数の電極等を含む所定パターンが形成される。その後、露光された基板は、現像工程、エッチング工程、レジスト剥離工程等の各工程を経ることによって、基板上に所定のパターンが形成され、次のカラーフィルター形成工程402へ移行する。

次に、カラーフィルター形成工程402では、R（Red）、G（Green）、B（Blue）に対応した3つのドットの組がマトリックス状に多数配列されたり、またはR、G、Bの3本のストライプのフィルターの組を複数水平走査線方向に配列されたりしたカラ

ーフィルターを形成する。そして、カラーフィルター形成工程 402 の後に、セル組み立て工程 403 が実行される。セル組み立て工程 403 では、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板、およびカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルター等を用いて液晶パネル（液晶セル）を組み立てる。セル組み立て工程 403 では、例えば、パターン形成工程 401 にて得られた所定パターンを有する基板とカラーフィルター形成工程 402 にて得られたカラーフィルターとの間に液晶を注入して、液晶パネル（液晶セル）を製造する。

その後、モジュール組み立て工程 404 にて、組み立てられた液晶パネル（液晶セル）の表示動作を行わせる電気回路、バックライト等の各部品を取り付けて液晶表示素子として完成させる。上述の液晶表示素子の製造方法によれば、極めて微細な回路パターンを有する液晶表示素子をスループット良く得ることができる。

産業上の利用性

以上説明したように、本発明の第 1 の態様にかかる投影光学系では、少なくとも 2 枚の反射鏡と第 1 面側の面が正の屈折力を有する境界レンズとを含み、すべての透過部材および反射部材が単一光軸に沿って配置され、光軸を含まない有効結像領域を有する構成において、境界レンズと第 2 面との間の光路が 1.1 よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされている。その結果、本発明では、色収差や像面湾曲などの諸収差が良好に補正されて優れた結像性能を有し、光学面での反射損失を良好に抑えて大きな実効的な像側開口数を確保することのできる比較的小型の投影光学系を実現することができる。

また、本発明の第 2 の態様にかかる投影光学系によれば、第 1

結像光学系において第1面の中間像を形成するため、投影光学系の開口数を大きくした場合においても、第1面側に向かう光束と第2面側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。また、第2結像光学系に負の屈折力を有する第1レンズ群を備えているため、反射屈折投影光学系の全長を短くすることができ、かつペッツバル条件を満足するための調整を容易に行なうことができる。更に、第1レンズ群は、第1フィールドミラーにより拡げられた光束の画角の違いによるばらつきを緩和し、収差の発生を抑制する。従って、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

また、本発明の第3の態様にかかる投影光学系によれば、少なくとも6つのミラーが含まれているため、解像度を高くするために反射屈折投影光学系の物体側及び像側の開口数を大きくした場合においても、反射屈折投影光学系の全長を長くすることなく、第1中間像及び第2中間像を形成することができる。従って、第1面側に向かう光束と第2面側に向かう光束との光路分離を容易かつ確実に行うことができる。また、少なくとも6つのミラー及び負の屈折力を有する第2レンズ群を備えているため、各ミラーまたは第2レンズ群を構成するレンズ等を調整することにより、ペッツバル条件を容易に満足させることができ、かつ収差の補正を容易に行うことができる。

また、本発明の第3の態様にかかる投影光学系によれば、3回結像光学系であることから、第1中間像は第1面の倒立像、第2中間像は第1面の正立像、第2面に形成される像は倒立像となる。従って、この発明の反射屈折投影光学系を露光装置に搭載し、第

1 面と第 2 面とを走査して露光を行なう場合に、第 1 面の走査方向と第 2 面の走査方向を逆方向にすることができ、露光装置全体の重心の変化が小さくなるように容易に調整することができる。また、露光装置全体の重心の変化を軽減することにより、反射屈折投影光学系の振動を軽減することができ、露光領域内全域で良好な結像性能を得ることができる。

したがって、本発明の投影光学系を用いる露光装置および露光方法では、優れた結像性能を有し且つ大きな実効的な像側開口数ひいては高い解像度を有する投影光学系を介して、微細なパターンを高精度に転写露光することができる。また、本発明の投影光学系を搭載した露光装置を用いて、高解像な投影光学系を介した高精度な投影露光により、良好なマイクロデバイスを製造することができる。

請求の範囲

1. 第1面の縮小像を第2面上に形成する反射屈折型の投影光学系において、

前記投影光学系は、少なくとも2枚の反射鏡と、第1面側の面
5 が正の屈折力を有する境界レンズとを含み、

前記投影光学系の光路中の雰囲気屈折率を1とするとき、前記境界レンズと前記第2面との間の光路は1.1よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされ、

前記投影光学系を構成するすべての透過部材および屈折力を有
10 するすべての反射部材は単一の光軸に沿って配置され、

前記投影光学系は、前記光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有することを特徴とする投影光学系。

2. 請求の範囲第1項に記載の投影光学系において、

前記少なくとも2枚の反射鏡は、少なくとも1つの凹面反射鏡
15 を有することを特徴とする投影光学系。

3. 請求の範囲第1項または第2項に記載の投影光学系において、

前記投影光学系は偶数個の反射鏡を有することを特徴とする投影光学系。

4. 請求の範囲第3項に記載の投影光学系において、

2つのミラーを含み、前記第1面の中間像を形成する第1結像
20 光学系と、

前記中間像を前記第2面に形成する第2結像光学系とを含み、

前記第2結像光学系は、前記中間像側から光線が通過する順に、
25 凹面形状の第1フィールドミラーと、

第2フィールドミラーと、

少なくとも2つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第1レンズ群と、

正の屈折力を有する第2レンズ群と、

5 開口絞りと、

正の屈折力を有する第3レンズ群と、

を備えることを特徴とする投影光学系。

5. 請求の範囲第4項に記載の投影光学系において、

前記第1結像光学系は、正の屈折力を有する第4レンズ群と、

10 負レンズと、凹面ミラーと、光路分離ミラーとを備え、

前記第1結像光学系中を進行する光が、前記第4レンズ群及び前記負レンズを透過した後、前記凹面ミラーにて反射されて、再度前記負レンズを透過して前記光路分離ミラーへ導かれ、前記光路分離ミラーにて反射された光が、前記第1フィールドミラー及び前記第2フィールドミラーにて反射された後に前記第2結像光学系中の前記第1レンズ群に直接的に入射するように構成されることを特徴とする投影光学系。

6. 請求の範囲第3項に記載の投影光学系において、

20 少なくとも6つのミラーを含み、前記第1面の第1中間像及び第2中間像を形成する第1結像光学系と、

前記第2中間像を前記第2面上にリレーする第2結像光学系とを備えることを特徴とする投影光学系。

7. 請求の範囲第6項に記載の投影光学系において、

25 前記第1結像光学系に含まれる前記少なくとも6つのミラーのうち、前記第1面から射出される光が第2番目に入射するミラーと、前記第1面から射出される光が第4番目に入射するミラーと

の間に、前記第 1 中間像が形成されることを特徴とする請求項 1
記載の反射屈折投影光学系。

8. 請求の範囲第 1 項乃至第 7 項の何れか一項に記載の投影光
学系において、

5 前記投影光学系の射出瞳は遮蔽領域を有しないことを特徴とす
る投影光学系。

9. 請求の範囲第 1 項乃至第 8 項の何れか一項に記載の投影光
学系において、

10 前記投影光学系が有するすべての有効結像領域は前記光軸から
外れた領域に存在することを特徴とする投影光学系。

10. 請求の範囲第 1 項乃至第 10 項の何れか一項に記載の投
影光学系において、

15 前記投影光学系は、少なくとも 2 つの反射鏡を含み前記第 1 面
の中間像を形成するための第 1 結像光学系と、前記中間像からの
光束に基づいて最終像を前記第 2 面上に形成するための第 2 結像
光学系とを備えていることを特徴とする投影光学系。

11. 請求の範囲第 10 項に記載の投影光学系において、

20 前記第 1 結像光学系は、正の屈折力を有する第 1 レンズ群と、
該第 1 レンズ群と前記中間像との間の光路中に配置された第 1 反
射鏡と、該第 1 反射鏡と前記中間像との間の光路中に配置された
第 2 反射鏡とを備えていることを特徴とする投影光学系。

12. 請求の範囲第 11 項に記載の投影光学系において、

前記第 1 反射鏡は、前記第 1 結像光学系の瞳面の近傍に配置さ
れた凹面反射鏡であり、

25 前記凹面反射鏡が形成する往復光路中には少なくとも 1 つの負
レンズが配置されていることを特徴とする投影光学系。

1 3. 請求の範囲第 1 2 項に記載の投影光学系において、

前記往復光路中に配置された前記少なくとも 1 つの負レンズおよび前記境界レンズは蛍石により形成されていることを特徴とする投影光学系。

5 1 4. 請求の範囲第 1 1 項乃至第 1 3 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第 1 レンズ群の焦点距離を F_1 とし、前記第 2 面上における最大像高を Y_0 とするとき、

$$5 < F_1 / Y_0 < 15$$

10 の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

1 5. 請求の範囲第 1 1 項乃至第 1 4 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第 1 レンズ群は、少なくとも 2 つの正レンズを有することを特徴とする投影光学系。

15 1 6. 請求の範囲第 1 0 項乃至第 1 5 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第 2 結像光学系は、複数の透過部材のみにより構成された屈折光学系であることを特徴とする投影光学系。

1 7. 請求の範囲第 1 6 項に記載の投影光学系において、

20 前記第 2 結像光学系を構成する透過部材の数の 70% 以上の数の透過部材は石英により形成されていることを特徴とする投影光学系。

1 8. 請求の範囲第 1 項乃至第 1 7 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

25 前記有効結像領域は円弧形状を有し、前記有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさを R とし、前記第 2 面上における最

大像高を Y_0 とするとき、

$$1. \quad 0.5 < R / Y_0 < 1.2$$

の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

19. 第1面の縮小像を第2面上に形成する反射屈折型の投影光学系において、

少なくとも2枚の反射鏡と透過部材とを備え、且つ前記投影光学系の光軸を含まない円弧形状の有効結像領域を備え、

前記有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさを R とし、前記第2面上における最大像高を Y_0 とするとき、

$$1. \quad 0.5 < R / Y_0 < 1.2$$

の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

20. 請求の範囲第1項乃至第19項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記境界レンズと前記第2面との間の光路中に配置された、ほぼ無屈折力の光透過性光学部材を備えていることを特徴とする投影光学系。

21. 第1面の像を第2面上に形成する反射屈折型の投影光学系において、

2つのミラーを含み、前記第1面の中間像を形成する第1結像光学系と、

前記中間像を前記第2面に形成する第2結像光学系とを含み、

前記第2結像光学系は、前記中間像側から光線が通過する順に、凹面形状の第1フィールドミラーと、

第2フィールドミラーと、

少なくとも2つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第1レ

レンズ群と、

正の屈折力を有する第 2 レンズ群と、

開口絞りと、

正の屈折力を有する第 3 レンズ群と、

5 を備えることを特徴とする投影光学系。

2 2. 請求の範囲第 2 1 項に記載の投影光学系において、

前記第 1 結像光学系は、正の屈折力を有する第 4 レンズ群と、
負レンズと、凹面ミラーと、光路分離ミラーとを備え、

10 前記第 1 結像光学系中を進行する光が、前記第 4 レンズ群及び
前記負レンズを透過した後、前記凹面ミラーにて反射されて、再
度前記負レンズを透過して前記光路分離ミラーへ導かれ、前記光
路分離ミラーにて反射された光が、前記第 1 フィールドミラー
及び前記第 2 フィールドミラーにて反射された後に前記第 2 結像
15 光学系中の前記第 1 レンズ群に直接的に入射するように構成され
ることを特徴とする請求項 1 記載の反射屈折型の投影光学系。

2 3. 請求の範囲第 2 1 項または第 2 2 項に記載の投影光学系
において、

前記第 1 フィールドミラーは、該第 1 フィールドミラーに入射
した光を該反射屈折型の投影光学系の光軸に向かう方向に折り曲
20 げて射出させることを特徴とする投影光学系。

2 4. 請求の範囲第 2 1 項乃至第 2 3 項の何れか一項に記載の
投影光学系において、

前記第 2 フィールドミラーは、凸面形状を有することを特徴と
する投影光学系。

25 2 5. 請求の範囲第 2 1 項乃至第 2 4 項の何れか一項に記載の
投影光学系において、

前記第 1 結像光学系に含まれる前記 2 つのミラーは、前記第 1 面からの光が入射する順に、凹面形状のミラーと、凸面形状のミラーであり、前記第 2 結像光学系に含まれる前記第 2 フィールドミラーは、凸面形状のミラーであることを特徴とする投影光学系。

5 26. 請求の範囲第 2 1 項乃至第 2 5 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記開口絞りは、前記第 1 フィールドミラーと前記第 2 面との間に配置され、前記第 1 フィールドミラーと前記第 2 面との光軸上距離を M、前記第 1 面と前記第 2 面との距離を L とするとき、
10 以下の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

$$0.17 < M/L < 0.6$$

27. 請求の範囲第 2 1 項乃至第 2 6 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第 2 結像光学系に含まれる前記第 1 レンズ群は、少なくとも
15 も 1 つの非球面レンズを有することを特徴とする投影光学系。

28. 第 1 面の像を第 2 面上に形成する反射屈折型の投影光学系において、

前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に配置されて正の屈折力を有する第 1 群と、

20 前記第 1 群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて少なくとも 4 つのミラーを含む第 2 群と、

前記第 2 群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、少なくとも 2 つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第 3 群と、

25 前記第 3 群と前記第 2 面との間の光路中に配置されて、少なくとも 3 つの正レンズを含み、正の屈折力を有する第 4 群と、

を備え、

前記第 2 群中に 1 つの中間像が形成され、前記第 4 群中に開口絞りが備えられていることを特徴とする投影光学系。

29. 請求の範囲第 28 項に記載の投影光学系において、

5 前記第 2 群は、前記第 1 面からの光が入射する順に、凹面形状の第 1 反射ミラーと、凸面形状の第 2 反射ミラーと、凹面形状の第 3 反射ミラーと、凸面形状の第 4 反射ミラーとを備えることを特徴とする投影光学系。

10 30. 請求の範囲第 28 項乃至第 29 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第 2 群は、少なくとも 1 つの負レンズを含み、前記第 2 群の光路中で最も前記第 3 群側に位置する光学素子は、前記第 4 反射ミラーまたは光が 2 度通過する往復レンズであることを特徴とする投影光学系。

15 31. 請求の範囲第 28 項乃至第 30 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第 3 反射ミラーは、該第 3 反射ミラーに入射した光を該反射屈折型の投影光学系の光軸に向かう方向に折り曲げて射出させることを特徴とする投影光学系。

20 32. 請求の範囲第 28 項乃至第 31 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記開口絞りは、前記第 3 反射ミラーと前記第 2 面との間に配置され、前記第 3 反射ミラーと前記第 2 面との光軸上距離を $M a$ 、前記第 1 面と前記第 2 面との距離を L とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする投影光学系。

25

$$0.17 < M a / L < 0.6$$

33. 請求の範囲第28項乃至第32項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第3群は、少なくとも1つの非球面レンズを備えていることを特徴とする投影光学系。

5 34. 第1面の像を第2面上に形成する反射屈折型の投影光学系において、

少なくとも6つのミラーを含み、前記第1面の第1中間像及び第2中間像を形成する第1結像光学系と、

10 前記第2中間像を前記第2面上にリレーする第2結像光学系とを備えることを特徴とする反射屈折型の投影光学系。

35. 請求の範囲第34項に記載の投影光学系において、

15 前記第1結像光学系に含まれる前記少なくとも6つのミラーのうち、前記第1面から射出される光が第2番目に入射するミラーと、前記第1面から射出される光が第4番目に入射するミラーとの間に、前記第1中間像が形成されることを特徴とする投影光学系。

36. 請求の範囲第34項または第35項に記載の投影光学系において、

20 前記第1結像光学系は、透過型光学素子から構成される正の屈折力を有するフィールドレンズ群を備え、

前記少なくとも6つのミラーは、前記フィールドレンズ群を通過した光を連続して反射するように配置されることを特徴とする投影光学系。

25 37. 請求の範囲第34項または第35項に記載の投影光学系において、

前記第1結像光学系は、透過型光学素子から構成される正の屈

折力を有するフィールドレンズ群を備え、

前記少なくとも6つのミラーのうち、前記第1面から射出される光が第1番目に入射するミラーと、前記第1面から射出される光が第6番目に入射するミラーとの間に、少なくとも1つの負レンズを備えることを特徴とする投影光学系。

38. 請求の範囲第34項乃至第37項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第2結像光学系を構成する光学素子は、全て透過型光学素子であり、前記第2面上に前記第1面の縮小像を形成することを特徴とする投影光学系。

39. 請求の範囲第34項乃至第38項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記第2結像光学系は、第1結像光学系から射出される光が通過する順に、正の屈折力を有する第1レンズ群と、負の屈折力を有する第2レンズ群と、正の屈折力を有する第3レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第4レンズ群とを備えることを特徴とする投影光学系。

40. 請求の範囲第39項に記載の投影光学系において、

前記少なくとも6つのミラーの中の前記第1面から射出される光が該反射屈折型の投影光学系の光軸から最も離れた位置に配置されるミラーは、凹面形状のミラーであり、

前記開口絞りは、前記凹面形状のミラーと前記第2面との間に配置され、前記凹面形状のミラーと前記第2面との光軸上距離を Mb 、前記第1面と前記第2面との距離を L とするとき、以下の条件を満足することを特徴とする請求項6に記載の反射屈折型の投影光学系。

$$0.2 < M_b / L < 0.7$$

4 1. 請求の範囲第 3 9 項または第 4 0 項に記載の投影光学系において、

5 前記第 2 レンズ群及び前記第 4 レンズ群は、少なくとも 1 つの非球面レンズを有することを特徴とする投影光学系。

4 2. 請求の範囲第 3 4 項乃至第 4 1 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

10 前記反射屈折型の投影光学系は、前記第 1 面の中間像である前記第 1 中間像と、前記第 1 中間像の像である前記第 2 中間像とを前記第 1 面と前記第 2 面との間の光路中に形成する 3 回結像光学系であることを特徴とする投影光学系。

4 3. 請求の範囲第 2 1 項乃至第 4 2 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

15 前記反射屈折型の投影光学系に含まれるレンズのうち最も前記第 2 面側に位置するレンズの前記第 1 面側のレンズ面は正の屈折力を有し、

20 該最も前記第 2 面側に位置するレンズと前記第 2 面との間の光路中に、前記反射屈折型の投影光学系中の雰囲気屈折率を 1 とするとき、1.1 よりも大きな屈折率を持つ媒質を介在させることを特徴とする投影光学系。

4 4. 請求の範囲第 2 1 項乃至第 4 3 項の何れか一項に記載の投影光学系において、

前記反射屈折型の投影光学系に含まれて所定の屈折力を有する全ての光学素子の光軸は、実質的に単一直線上に配置され、

25 前記反射屈折型の投影光学系により前記第 2 面上に形成される像の領域は、前記光軸を含まない軸外領域であることを特徴とす

る請求項 1 乃至請求項 1 4 の何れか一項に記載の反射屈折型の投影光学系。

4 5. マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光する露光装置であって、

- 5 前記第 1 面に設定された前記マスクを照明するための照明系と、
前記マスクに形成された前記パターンの像を前記第 2 面に設定された感光性基板上に形成するための請求の範囲第 1 項乃至第 4 4 項の何れか一項に記載の投影光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

- 10 4 6. 請求の範囲第 4 6 項に記載の露光装置において、
前記照明系は前記第 2 面に対して S 偏光となる照明光を供給することを特徴とする露光装置。

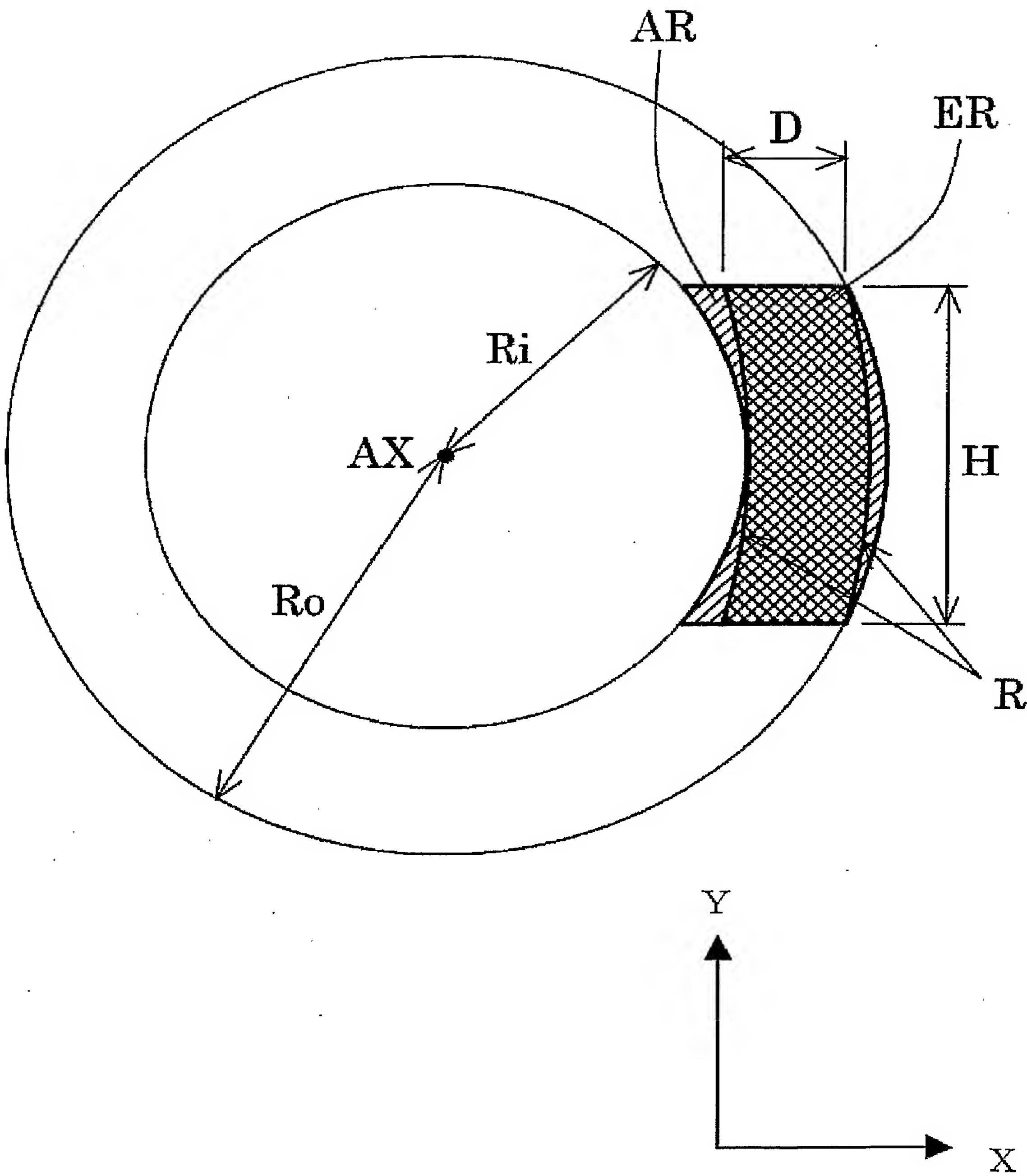
4 7. 請求の範囲第 4 6 項または第 4 7 項に記載の露光装置において、

- 15 前記投影光学系に対して前記マスクおよび前記感光性基板を所定方向に沿って相対移動させて前記マスクのパターンを前記感光性基板上へ投影露光することを特徴とする露光装置。

4 8. マスクに形成されたパターンを感光性基板上に露光する露光方法であって、

- 20 所定のパターンが形成されたマスクを照明する照明工程と、
請求の範囲第 1 項乃至第 4 4 項の何れか一項に記載の投影光学系を用いて、前記第 1 面に配置された前記マスクのパターンを前記第 2 面に配置された感光性基板に露光する露光工程とを含むことを特徴とする露光方法。

図2



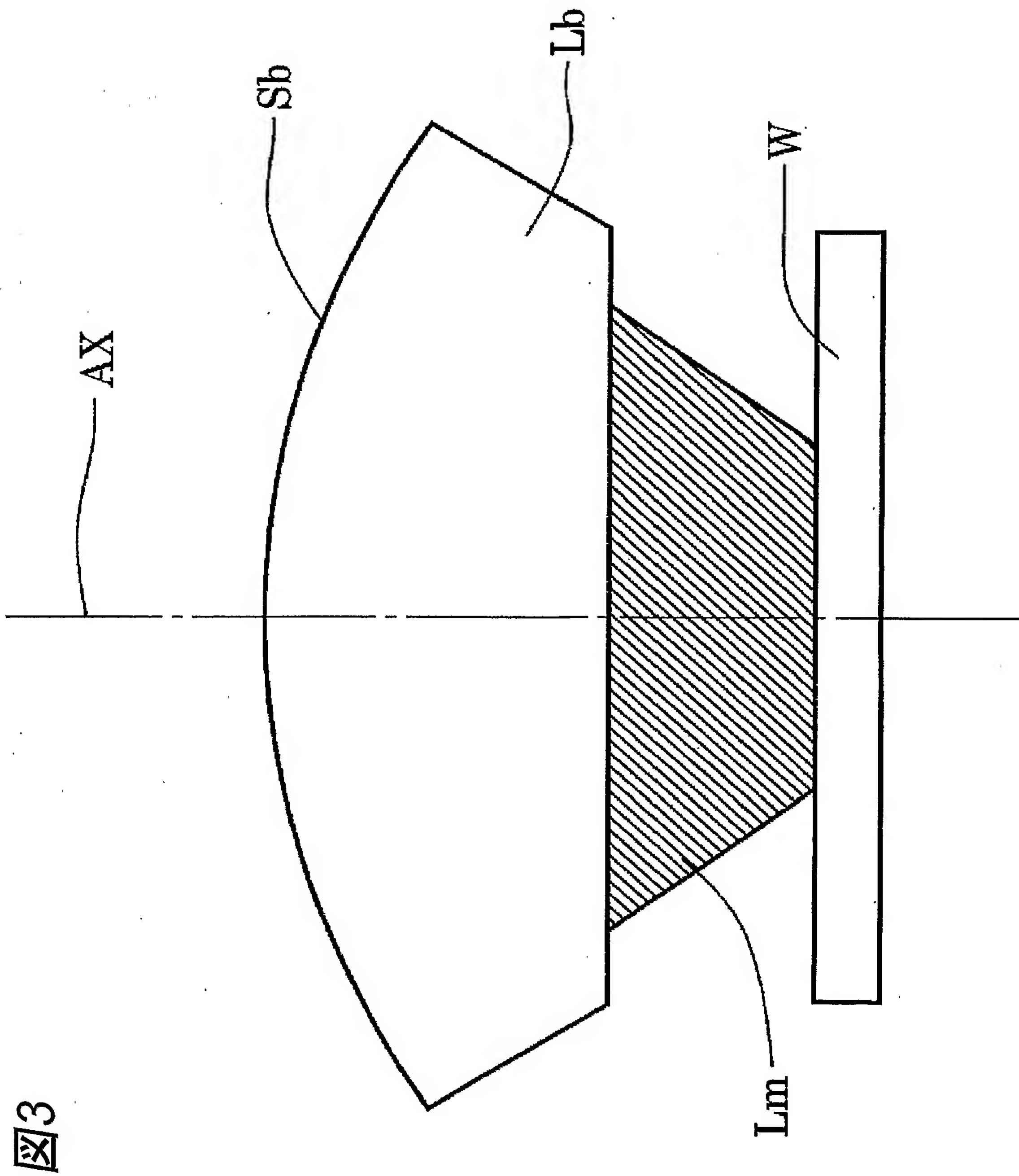


図3

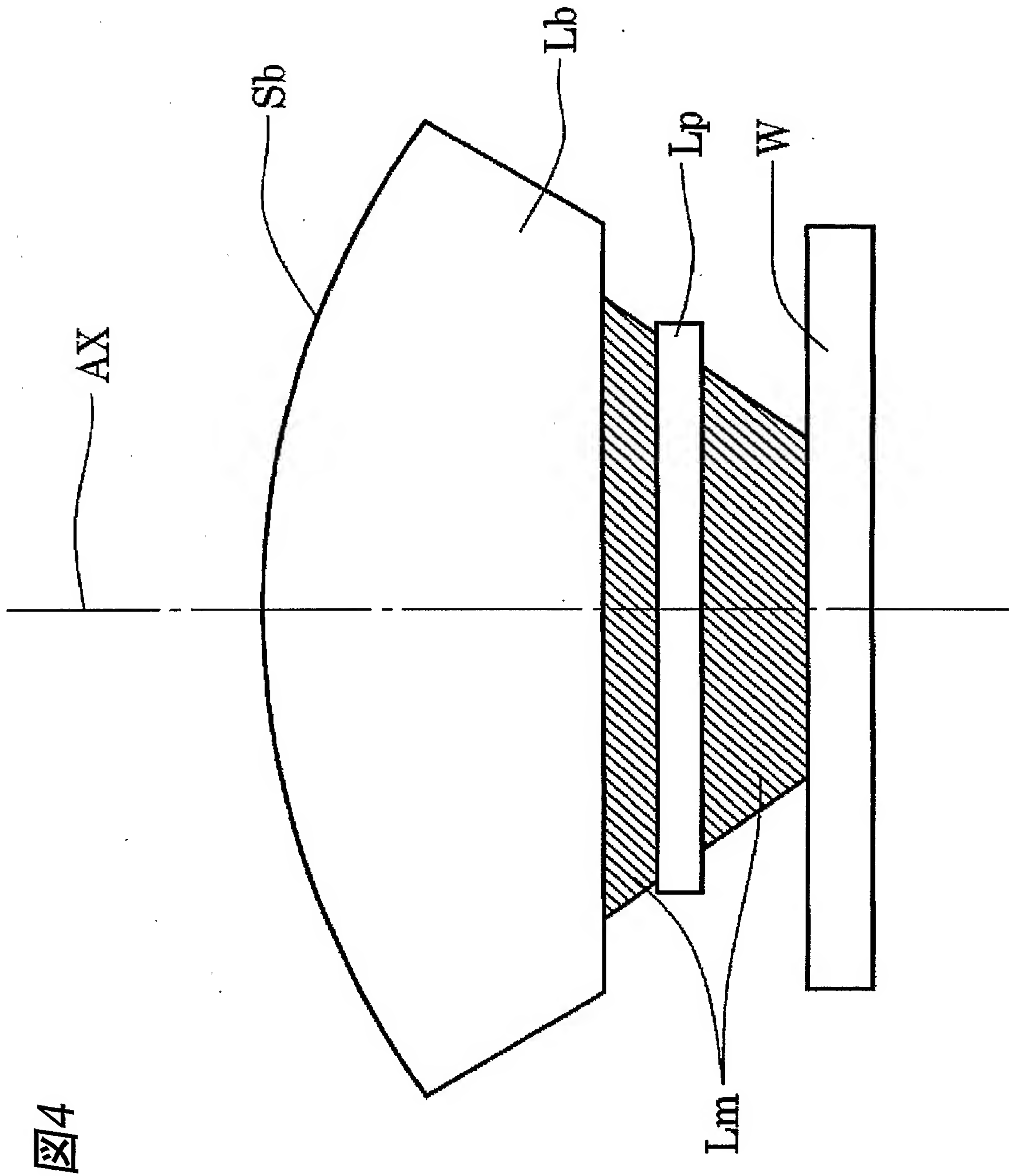


図4

図5

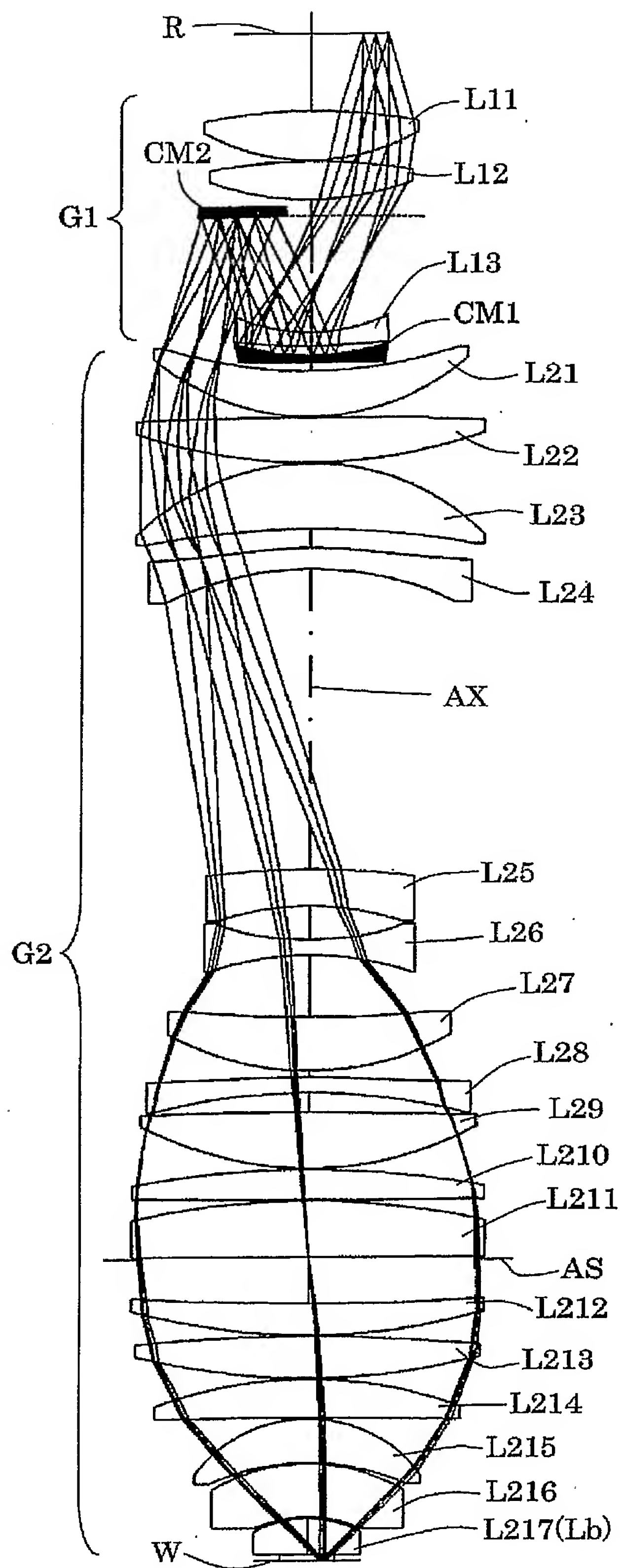


図6

横収差

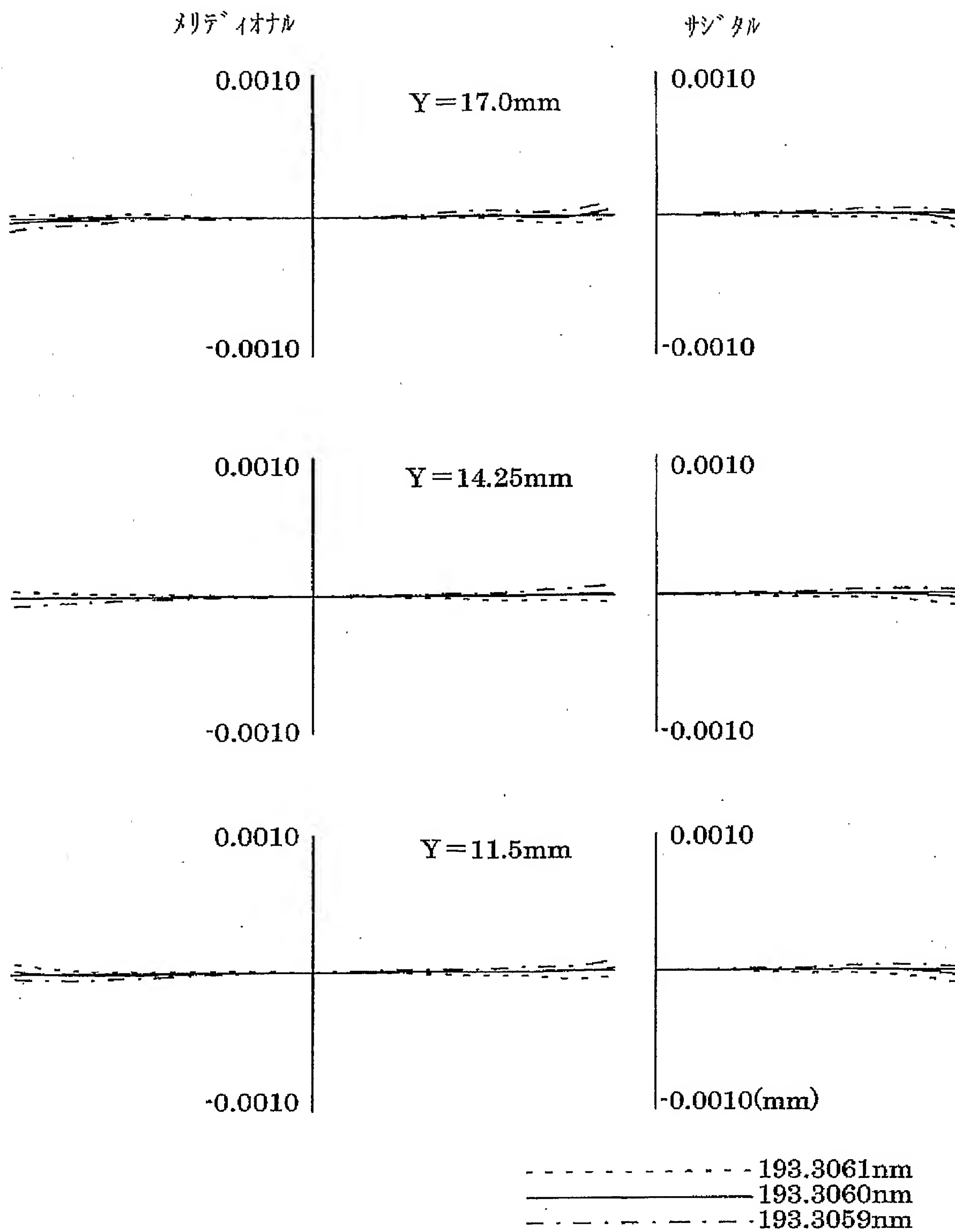


図7

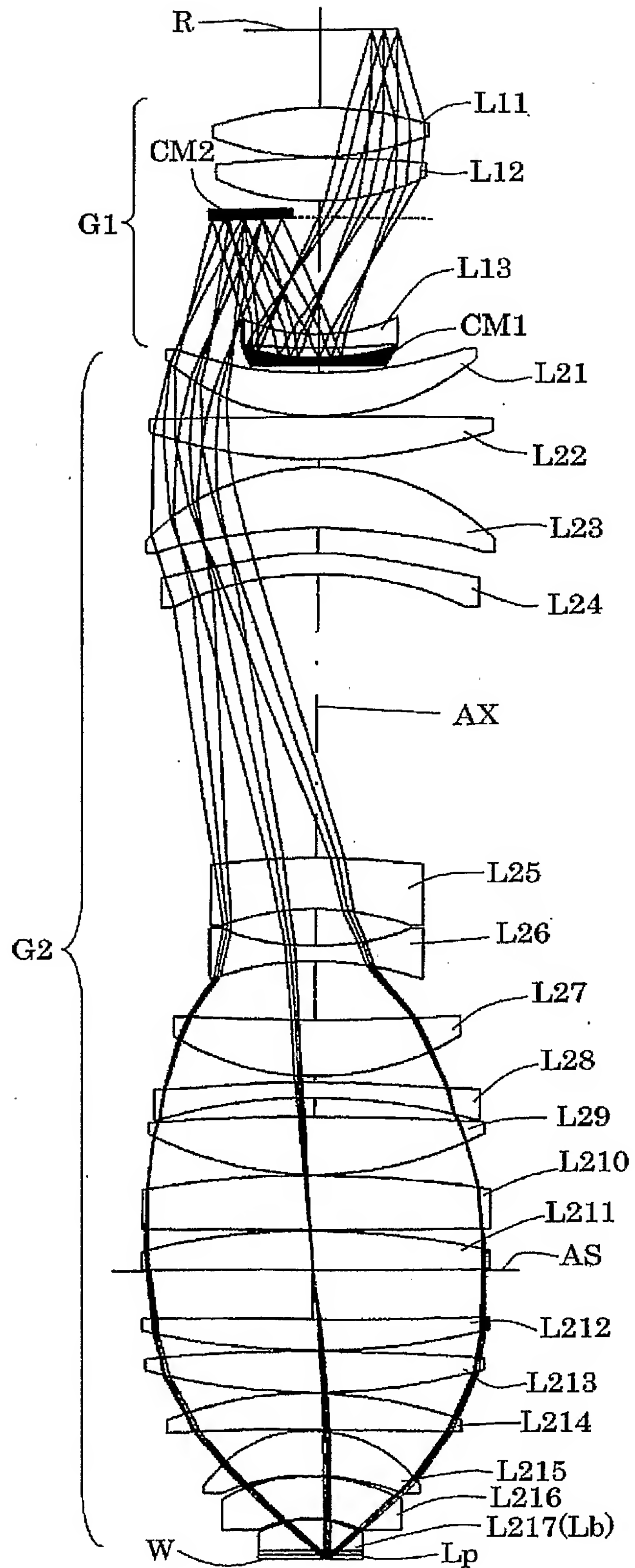


図8

横収差

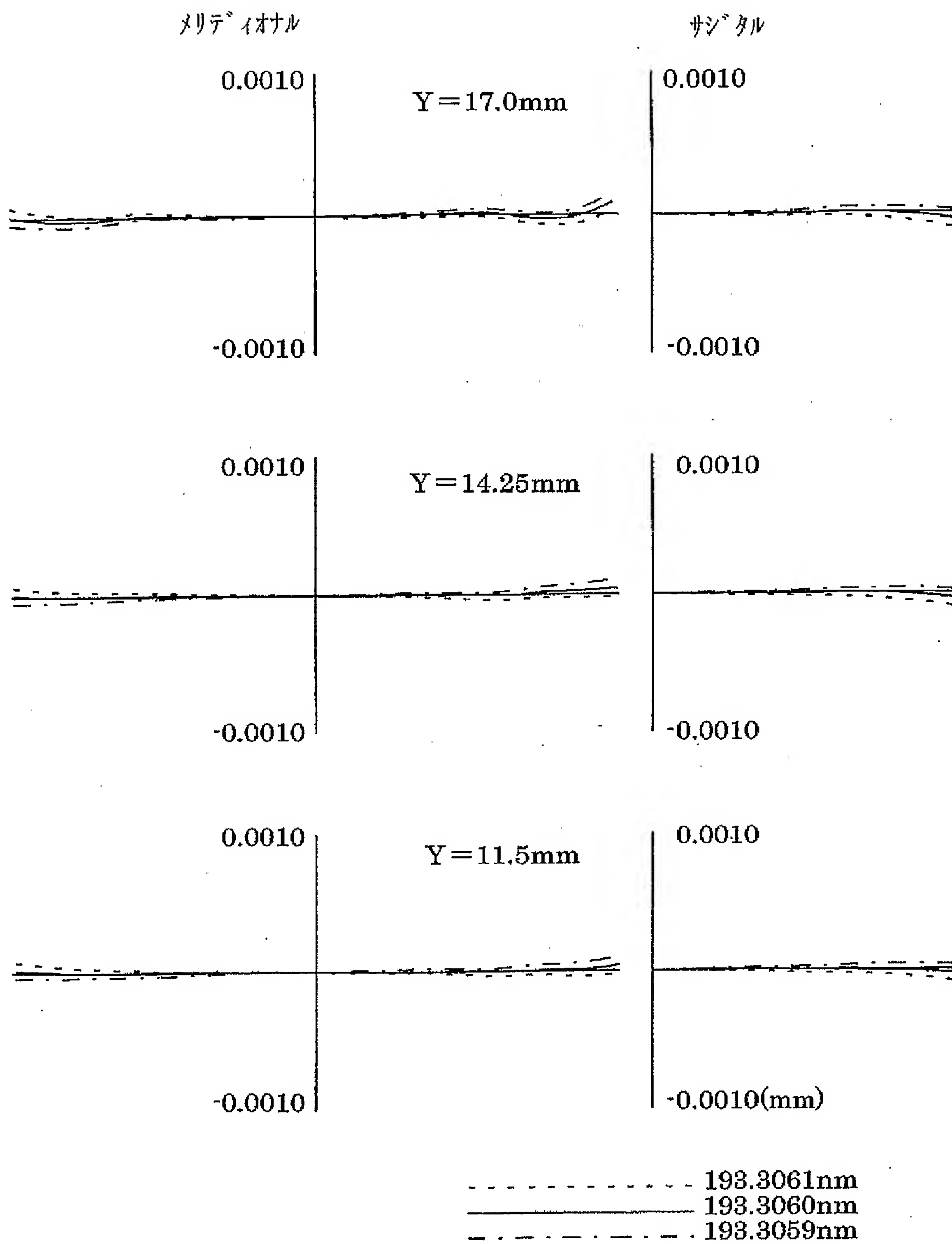


图9

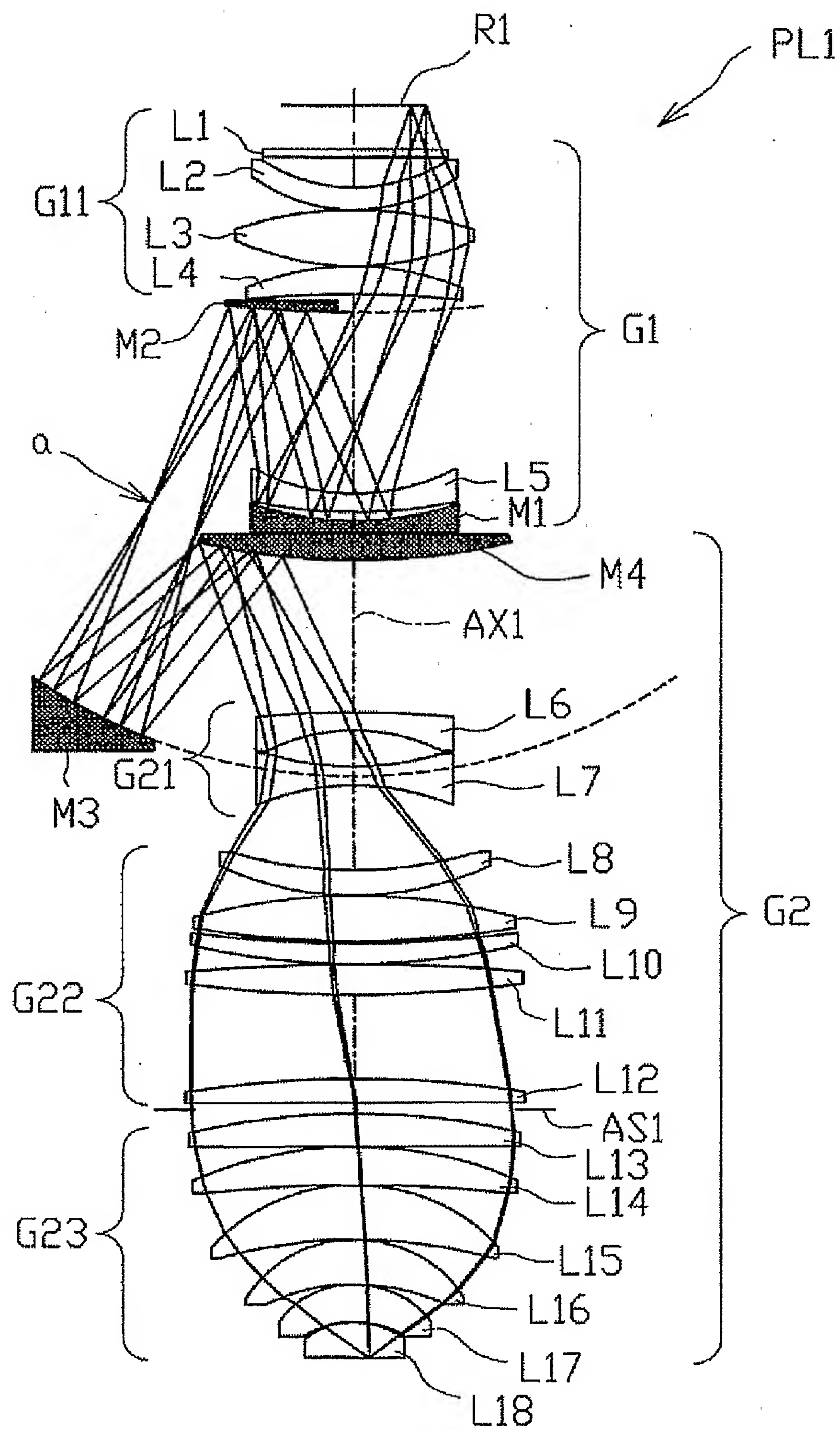


図10

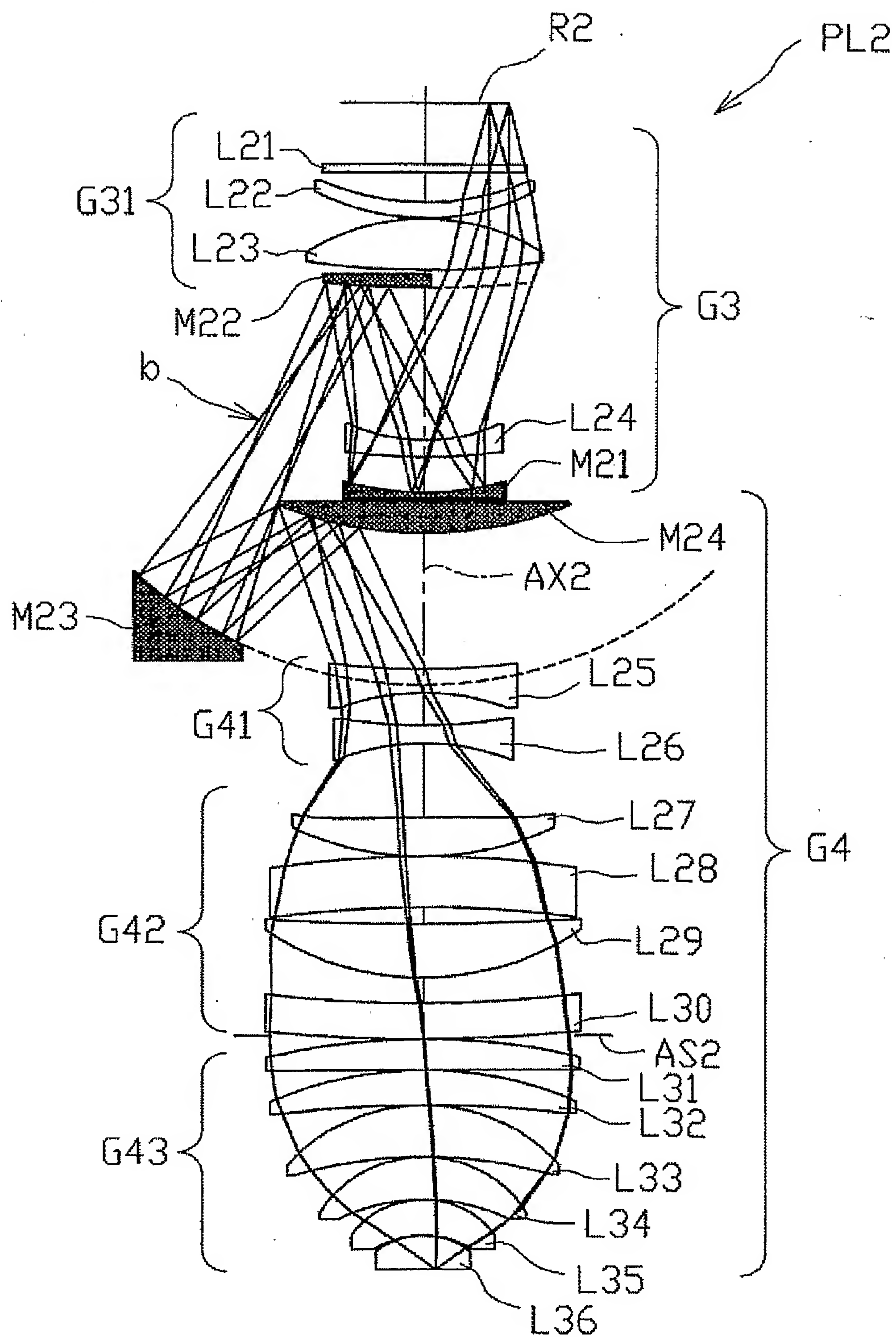


図11

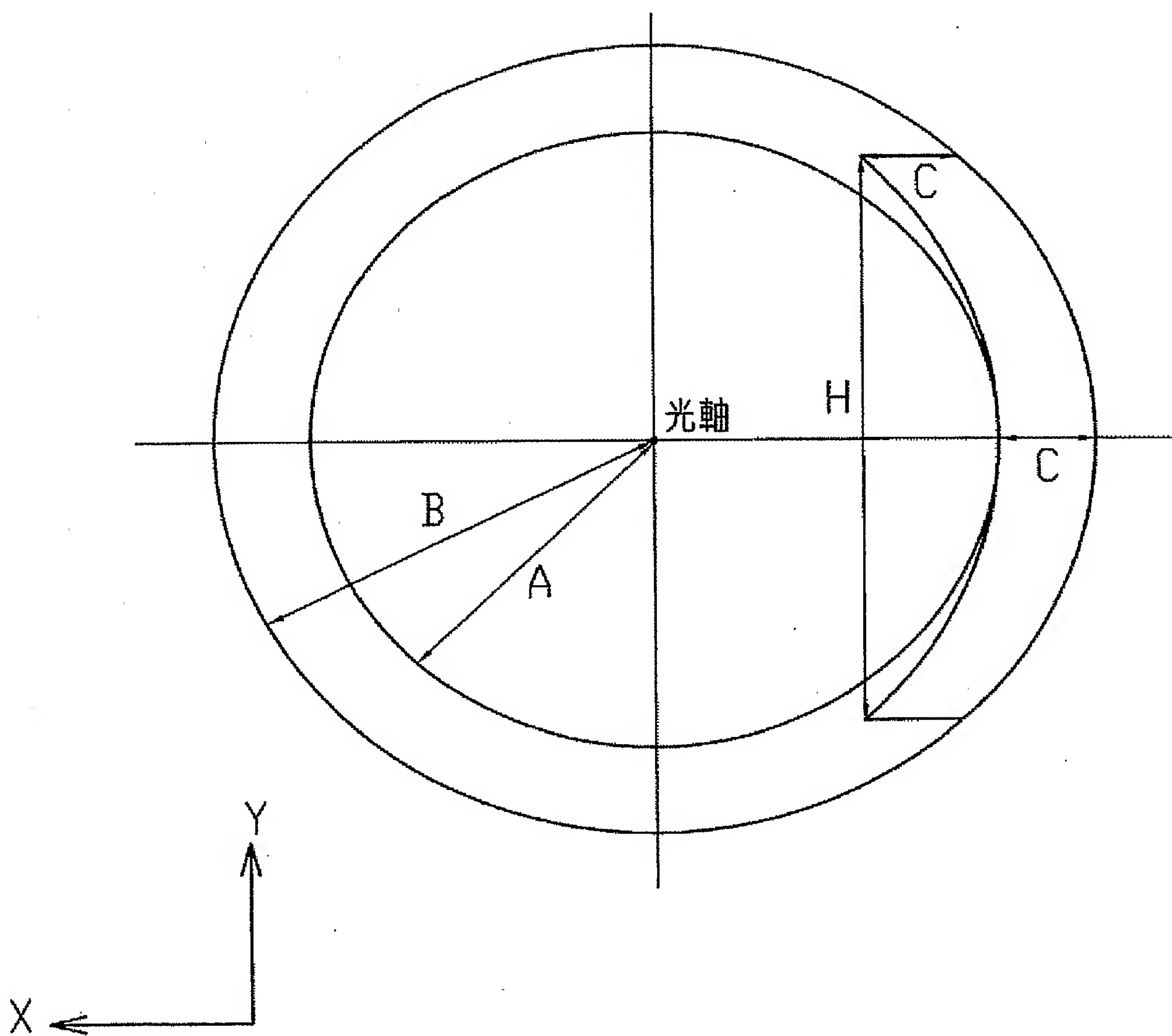


図12

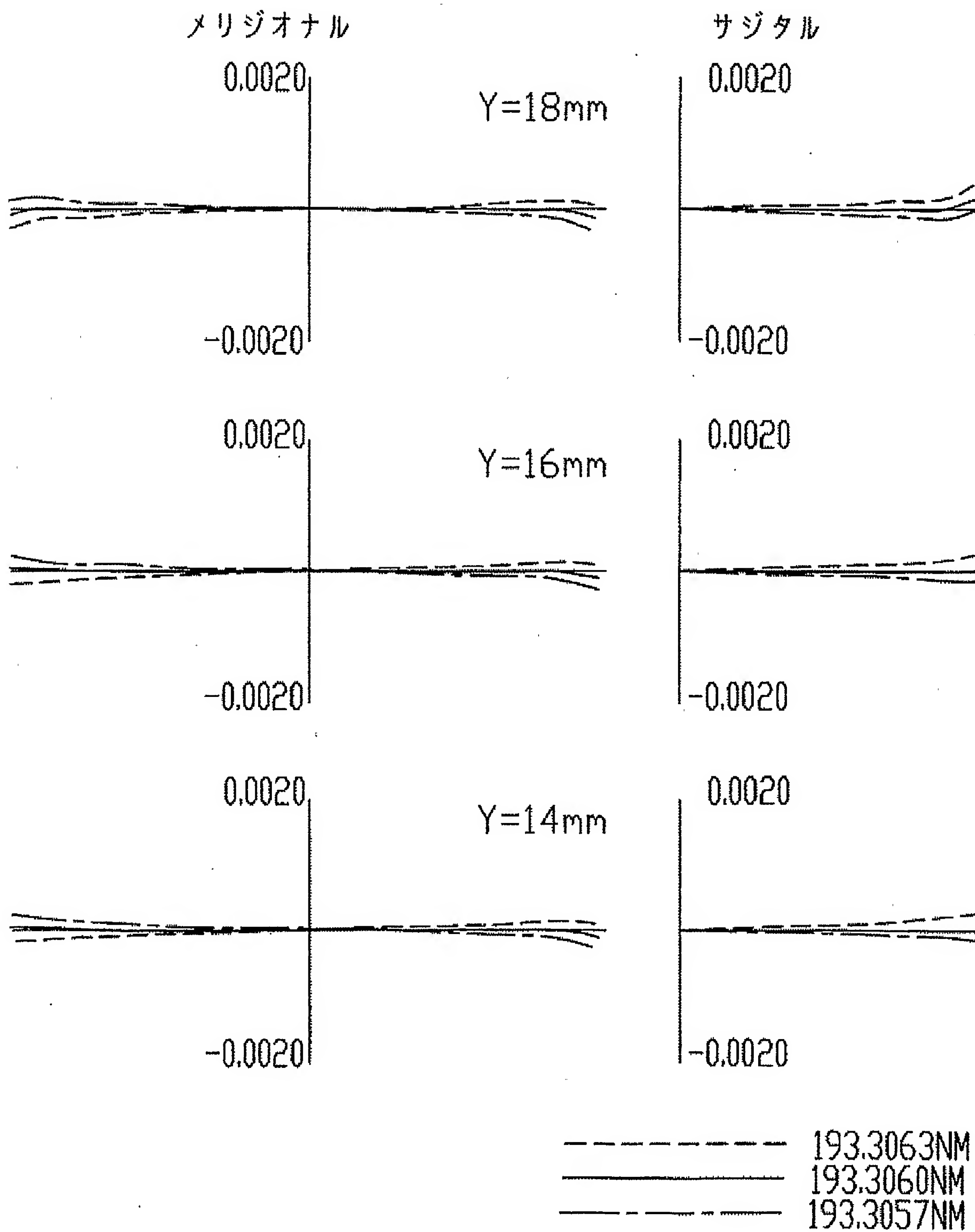


図13

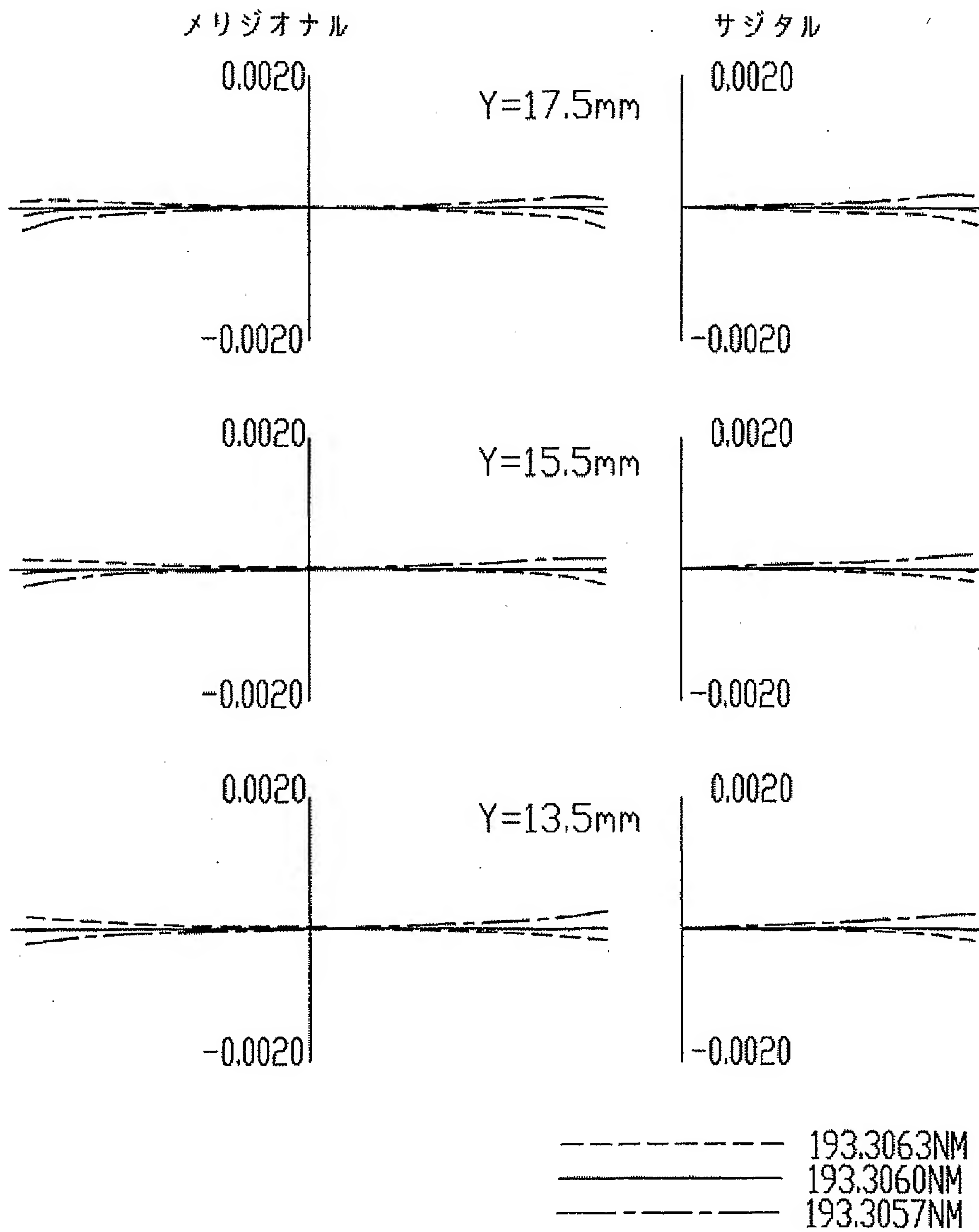


図14

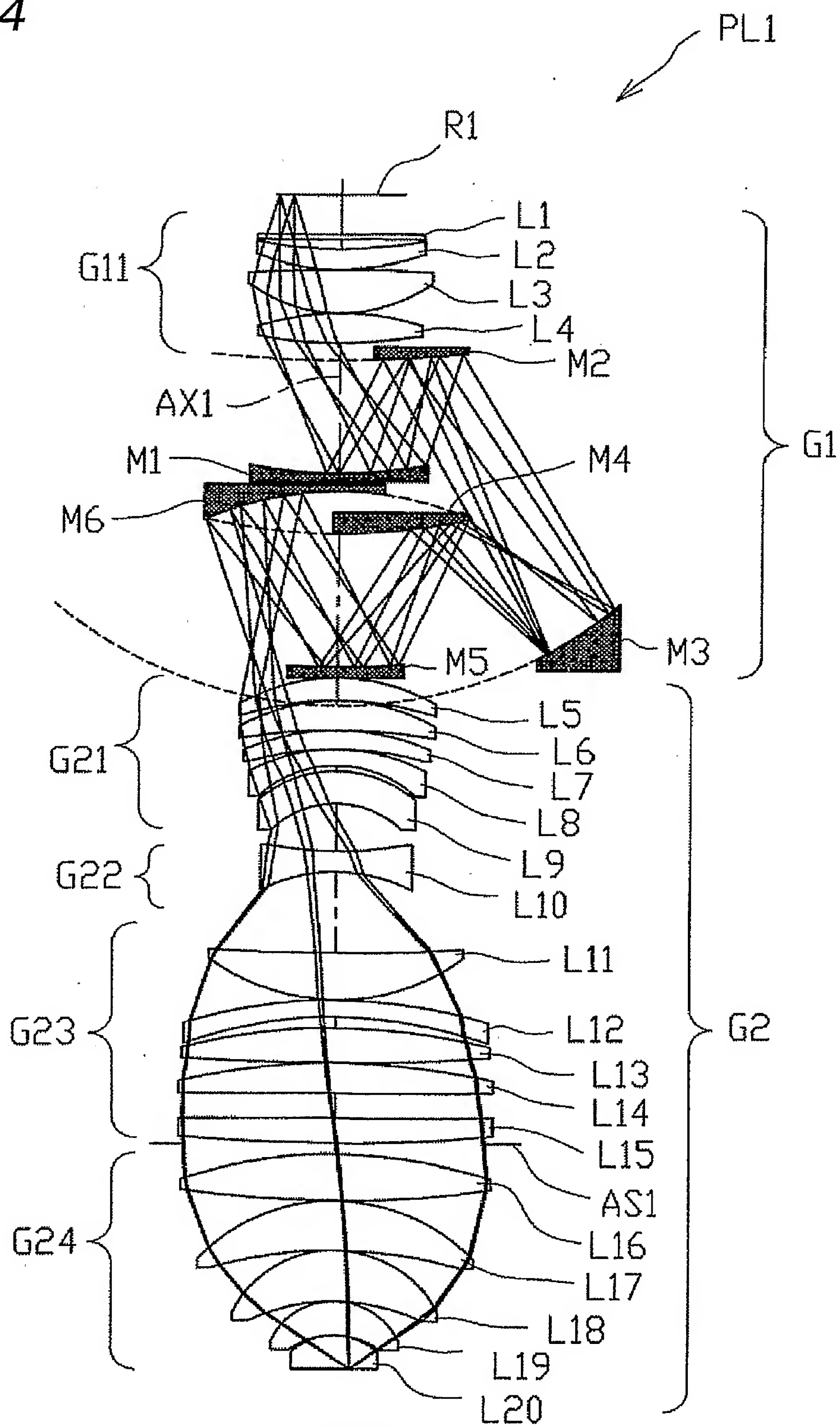


図15

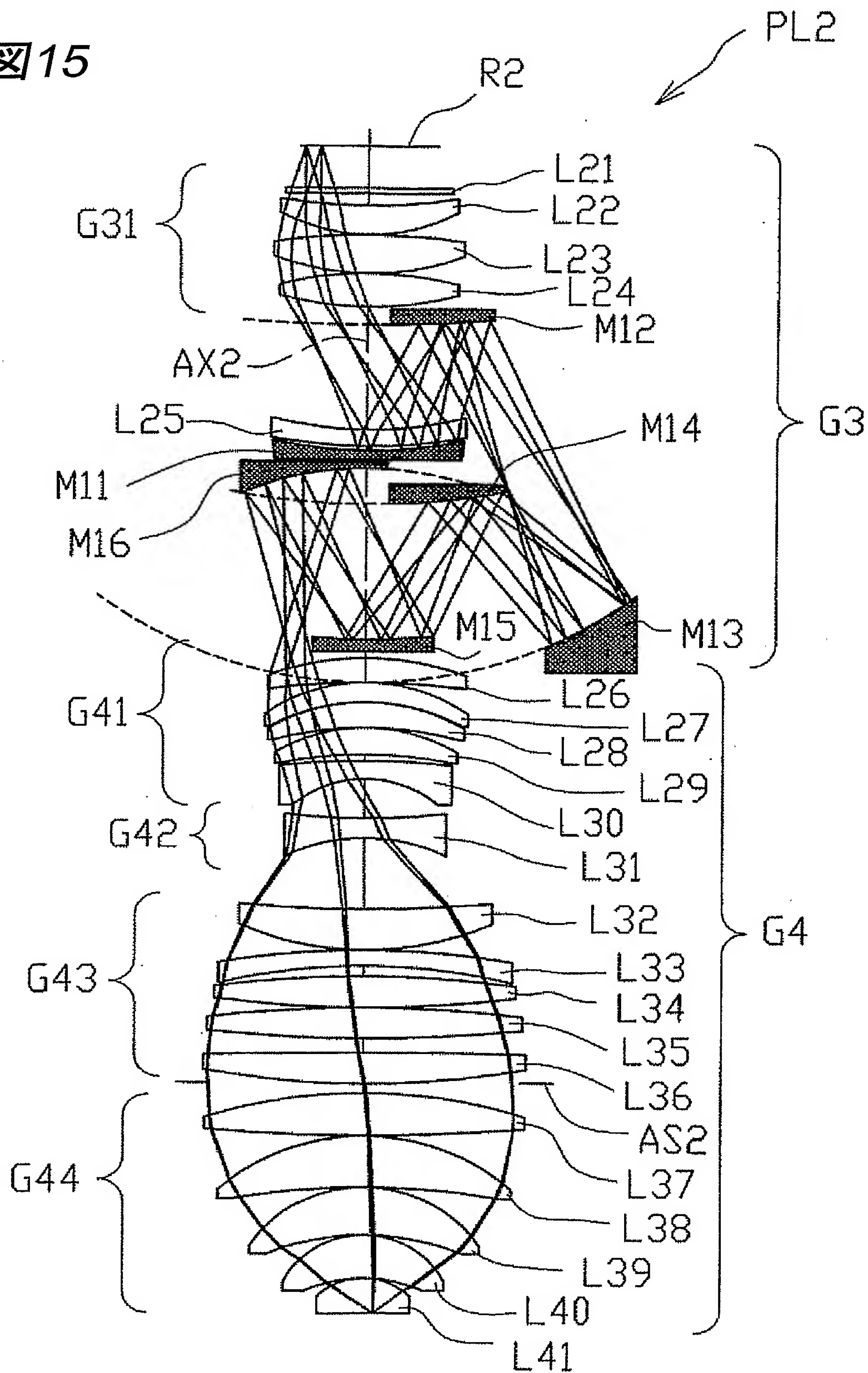


図16

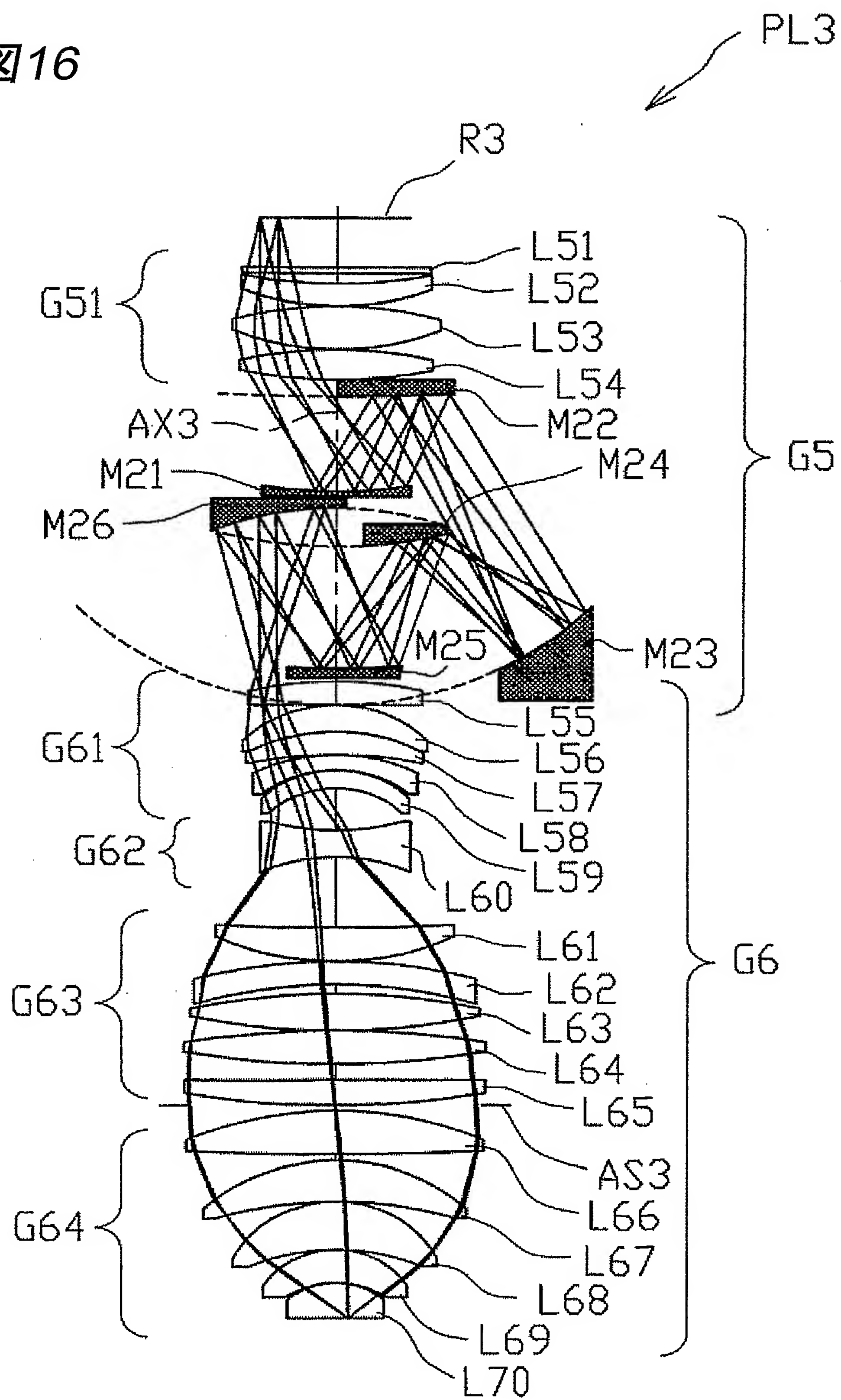


図17

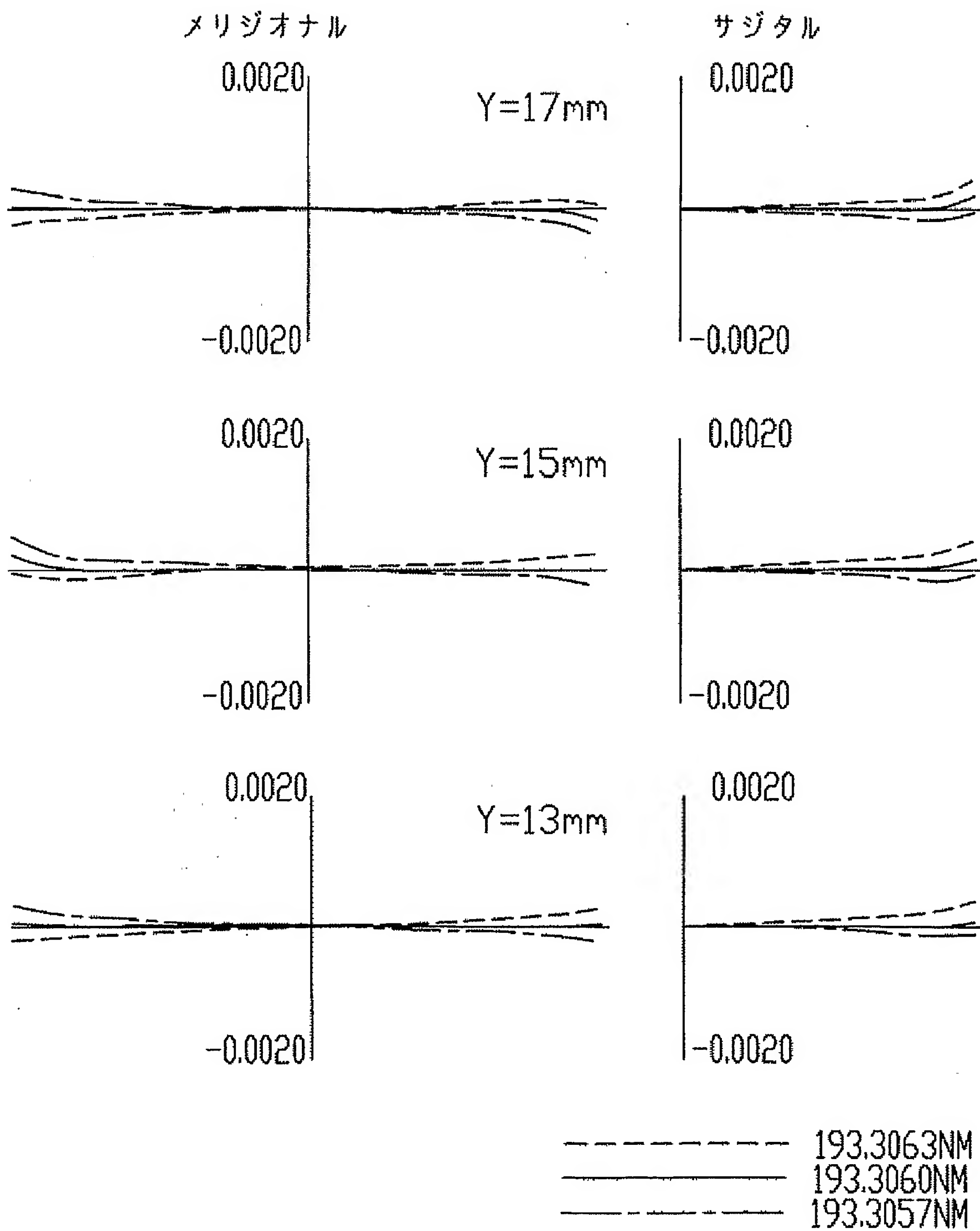


図18

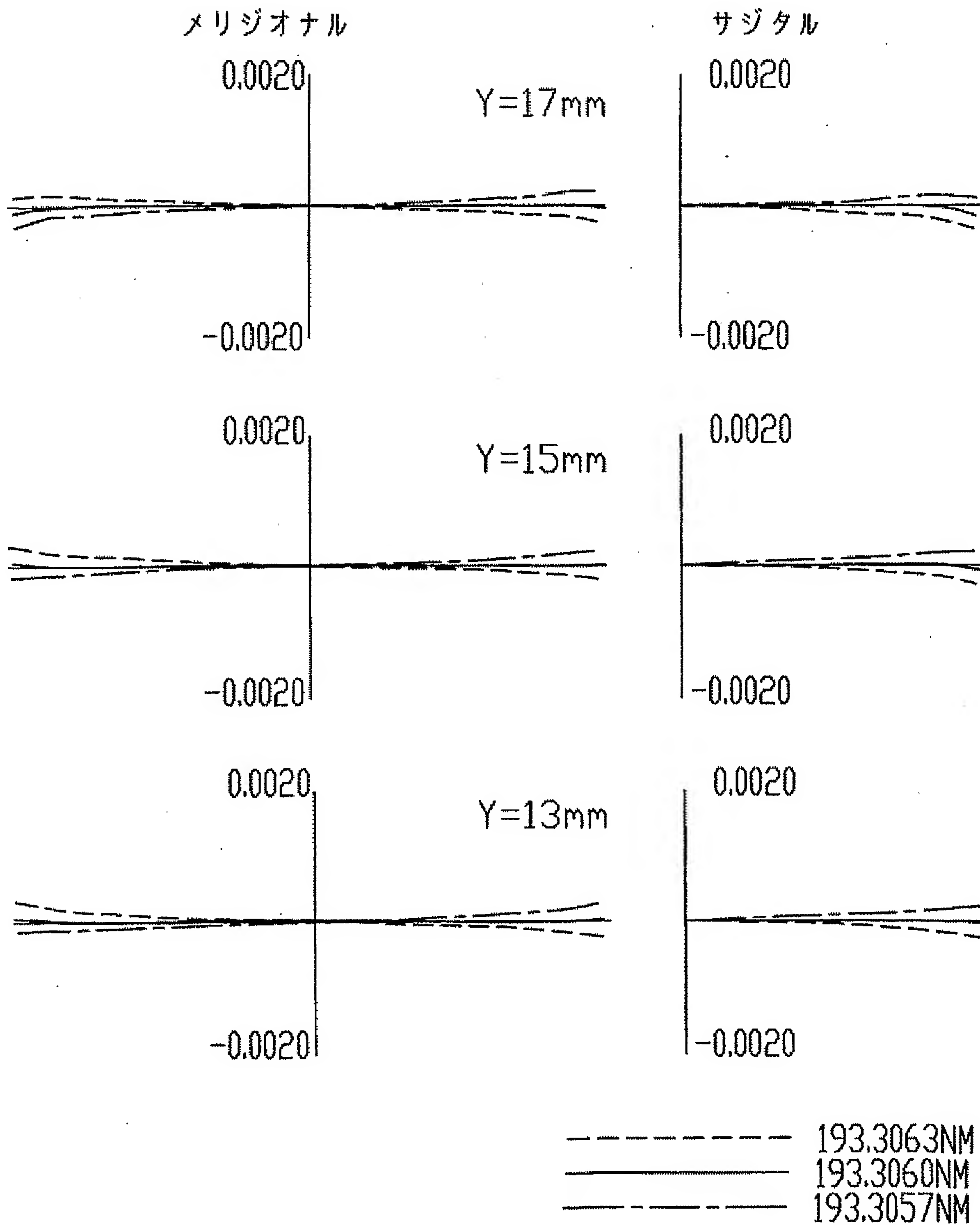


図19

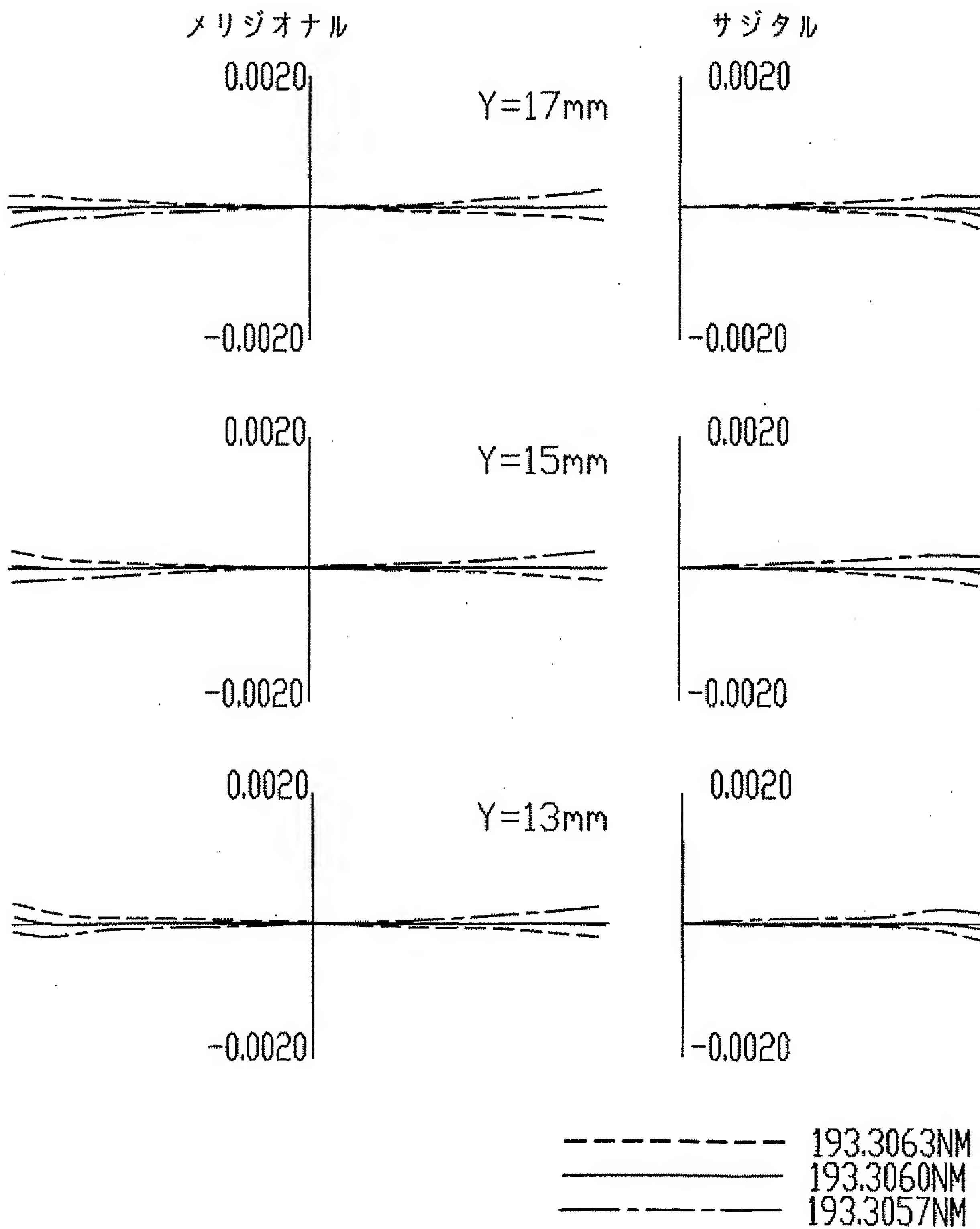


図20

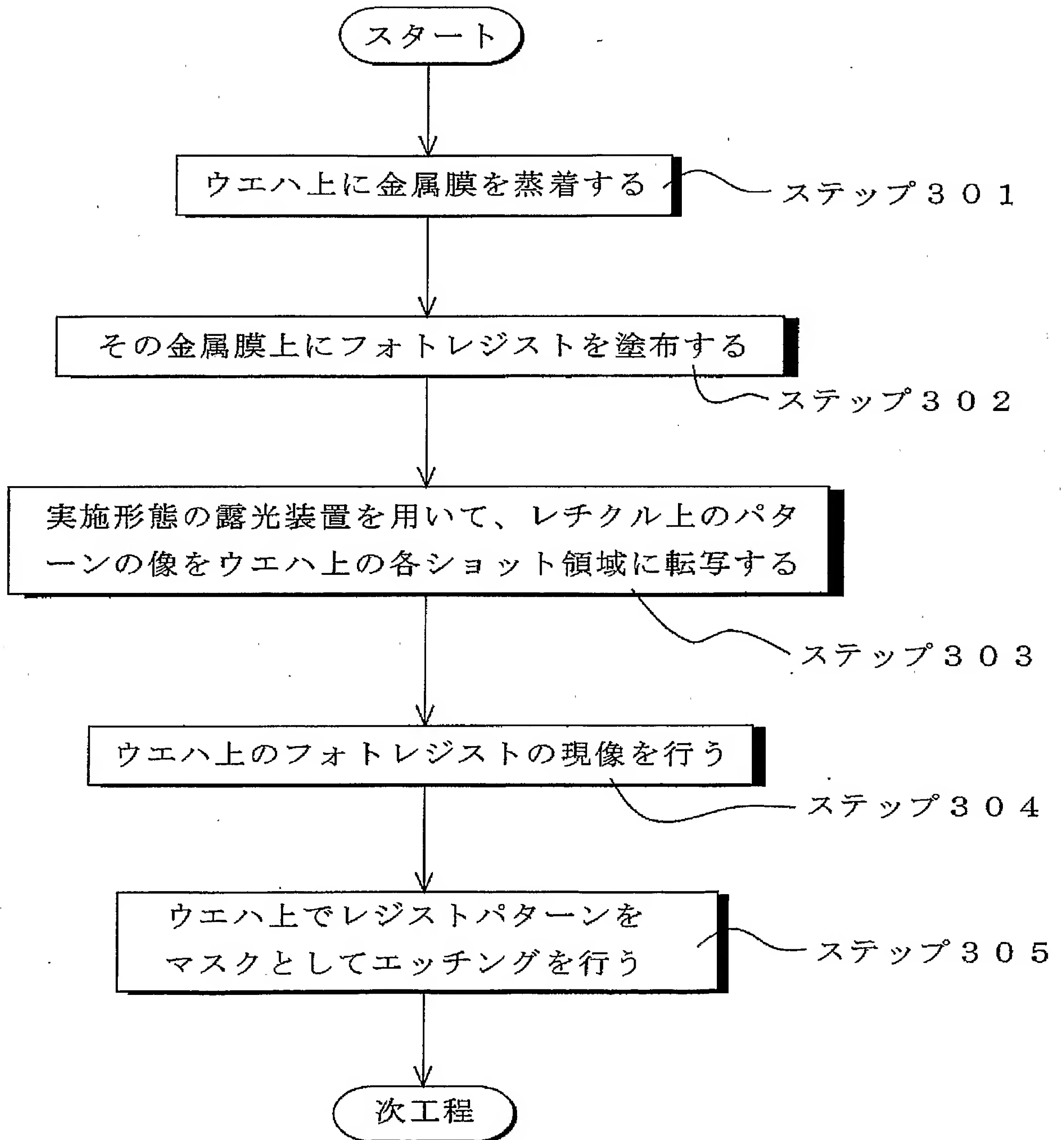
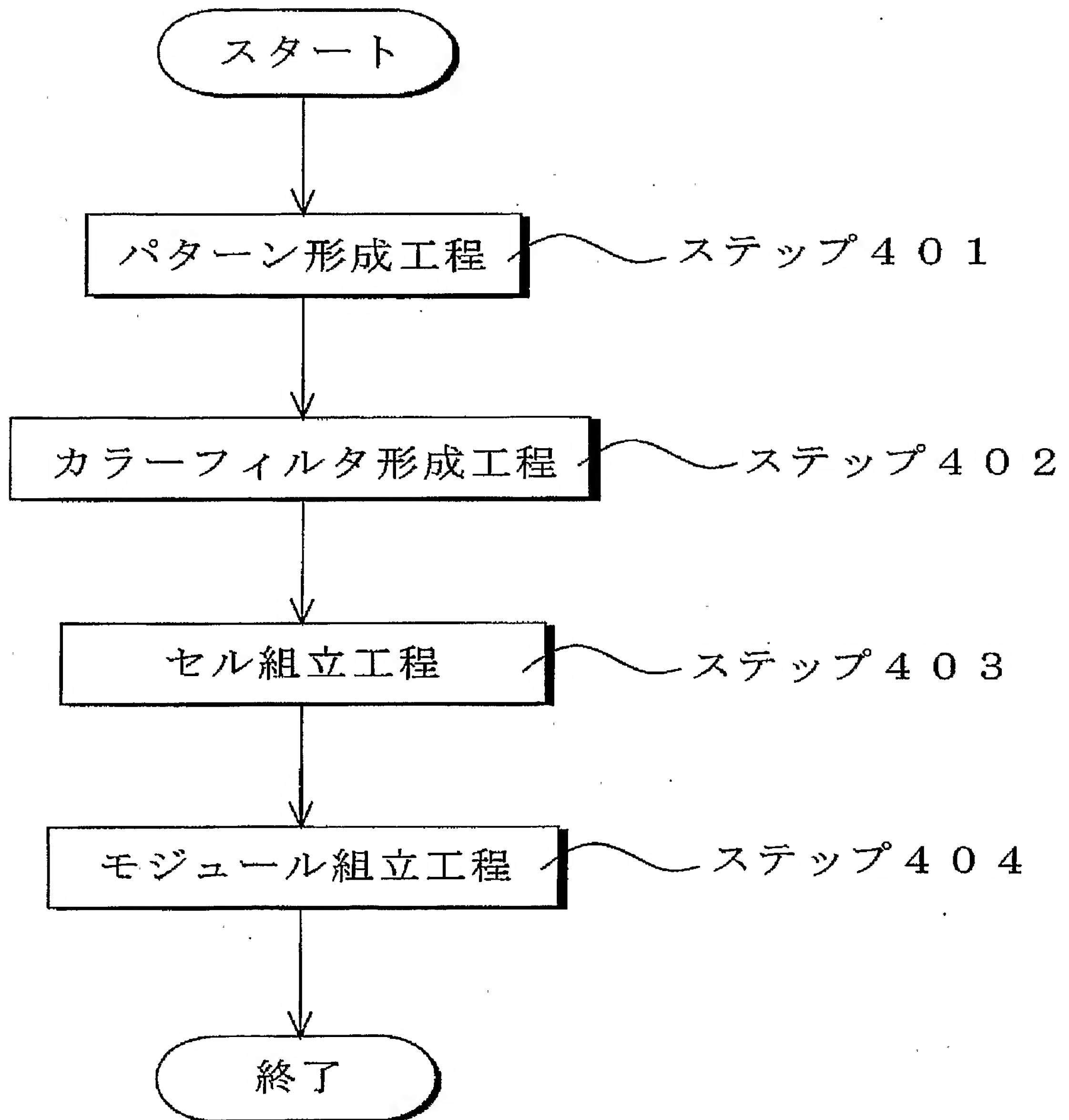


図21



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006417

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ G02B17/08, H01L21/027

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ G02B17/08, H01L21/027

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2004	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-114387 A (Nikon Corp.), 18 April, 2003 (18.04.03), Full text; all drawings (Family: none)	1-18, 45-48
Y	JP 2001-228401 A (Canon Inc.), 24 August, 2001 (24.08.01), Full text; all drawings & US 2002/0024741 A1	1-18, 45-48
Y	US 4346164 A (Werner Tabarelli et al.), 24 April, 1982 (24.04.82), Full text; all drawings & EP 23231 A & US 4509852 A	1-18, 45-48

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search
29 September, 2004 (29.09.04)

Date of mailing of the international search report
12 October, 2004 (12.10.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006417

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-303114 A (Nikon Corp.), 13 November, 1998 (13.11.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-18, 45-48

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006417

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

(See extra sheets.)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.
2. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.
3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☒ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.: 1-18, 45-48.

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.
- ☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

1. The special technical feature of the group of inventions of claims 1-18 is a projection optical system of reflection/refraction type forming a reduced image of a first surface on a second surface, wherein the projection optical system includes at least two refractive mirrors and a border lens having a first surface with positive refractive power, the optical path between the border lens and the second surface is filled with a medium having an index of refraction greater than 1.1 where the index of refraction of the atmosphere in the optical path of the projection optical system, all the transparent members constituting the optical projection system is 1 and all the reflective members having refractive power are arranged along a single optical axis, and the projection optical projection system has an effective image-forming region not including the optical axis and having a predetermined shape.

2. The special technical feature of the group of inventions of claims 19, 20 is a projection optical system of reflection/refraction type forming a reduced image of a first surface on a second surface, wherein the projection optical system includes at least two reflective mirrors and a transparent member, and has an arcuate effective image-forming region not including the optical axis of the projection optical system, and the condition

$$1.05 < R/Y_0 < 12$$

is satisfied where R is the radius of curvature of the arc defining the effective image-forming region and Y₀ is the maximum height of the image on the second surface.

3. The special technical feature of the group of inventions of claims 21-27 is a projection optical system of reflection/refraction type forming a reduced image of a first surface on a second surface, wherein the projection optical system comprises a first image-forming optical system having two mirrors and adapted to form an intermediate image of the first surface and a second image-forming optical system adapted to form the intermediate image on the second surface, the second image-forming optical system includes, in order of passing of light traveling from the intermediate image, a first lens group comprising a concave first field mirror, a second field mirror, and at least two negative lenses and having a negative refractive power, a second lens group having positive reflective power, a third lens group comprising an aperture stop and having a positive refractive power.

4. The special technical feature of the group of inventions of claims 28-33 is a projection optical system of reflection/refraction type forming a reduced image of first surface on a second surface, wherein the projection optical system includes a first group disposed in an optical path between the first and second surfaces and having positive refractive power, a second group disposed in an optical path between the first group and the second surface and including at least four mirrors, a third group disposed between the second group and the second surface and including at least two negative lenses, and a fourth group including at least three positive lenses and having a positive refractive power, and wherein one intermediate image is formed in the second group, and an aperture stop is provided in the fourth group.

5. The special technical feature of the group of inventions of claims 34-42 is a projection optical system of reflection/refraction type forming a reduced image of first surface on a second surface, wherein, the projection optical system comprises a first image-forming optical system including at least six mirrors and adapted to form first and second intermediate images of the first surface and second optical

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/006417

system for relaying the second intermediate image onto the second surface..

The inventions of claims 43-48 are the ones of the independent claims referring to any one of groups 1 to 5 of the above inventions.

However the projection optical system of reflection/refraction type itself is conventionally well-known art without needing to cite its examples.

Therefore, there exists no technical feature common to the above groups of inventions considered as a special technical feature within the meaning of PCT Rules 13.2, second sentence, and the groups of inventions are not so linked as to form a single general inventive concept.

Consequently, the groups of inventions are not in a relationship satisfying the unity.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ G02B 17/08, H01L 21/027

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ G02B 17/08, H01L 21/027

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1926-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 2003-114387 A (株式会社ニコン) 2003.04.18、全文、全図 (ファミリーなし)	1-18, 45-48
Y	JP 2001-228401 A (キヤノン株式会社) 2001.08.24、全文、全図 & US 2002/0024741 A1	1-18, 45-48
Y	US 4346164 A (Werner Tabarelli, et al.) 1982.04.24、全文、全 図 & EP 23231 A & US 4509852 A	1-18, 45-48

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
29.09.2004

国際調査報告の発送日
12.10.2004

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/J P)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)	2 V	9 2 2 2
森内 正明		
電話番号 03-3581-1101	内線	3269

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 10-303114 A (株式会社ニコン) 1998. 11. 13、全文、全図 (ファミリーなし)	1-18, 45-48

第II欄 請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第1ページの2の続き）

法第8条第3項（PCT17条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1. ☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。つまり、
2. ☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、
3. ☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってPCT規則6.4(a)の第2文及び第3文の規定に従って記載されていない。

第III欄 発明の単一性が欠如しているときの意見（第1ページの3の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるところこの国際調査機関は認めた。

特別ページ第III欄の続きを参照

1. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。
2. ☐ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。
3. ☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。
4. ☒ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

請求の範囲 1-18, 45-48

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。
- ☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。

第III欄の続き

1. 請求の範囲1乃至18に記載の発明の群の特別な技術的特徴は、第1面の縮小像を第2面に形成する反射屈折型の投影光学系において、前記投影光学系は、少なくとも2枚の反射鏡と、第1面側の面が正の屈折力を有する境界レンズとを含み、前記投影光学系の光路中の雰囲気屈折率を1とするとき、前記境界レンズと前記第2面との間の光路は1.1よりも大きい屈折率を有する媒質で満たされ、前記投影光学系を構成するすべての透過部材および屈折力を有するすべての反射部材は単一の光軸に沿って配置され、前記投影光学系は、前記光軸を含まない所定形状の有効結像領域を有する点に関するものである。

2. 請求の範囲19及び20に記載の発明の群の特別な技術的特徴は、第1面の縮小像を第2面に形成する反射屈折型の投影光学系において、少なくとも2枚の反射鏡と透過部材とを備え、且つ前記投影光学系の光軸を含まない円弧形状の有効結像領域を備え、前記有効結像領域を規定する円弧の曲率半径の大きさを R とし、前記第2面上における最大像高を Y_0 とするとき、

$$1. \quad 0.5 < R/Y_0 < 1.2$$

の条件を満足する点に関するものである。

3. 請求の範囲21乃至27に記載の発明の群の特別な技術的特徴は、第1面の縮小像を第2面に形成する反射屈折型の投影光学系において、2つのミラーを含み、前記第1面の中間像を形成する第1結像光学系と、前記中間像を前記第2面に形成する第2結像光学系と、を含み、前記第2結像光学系は、前記中間像から光線が通過する順に、凹面形状の第1フィールドミラーと、第2フィールドミラーと、少なくとも2つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第1レンズ群と、正の屈折力を有する第2レンズ群と、開口絞りと、正の屈折力を有する第3レンズ群と、を備えた点に関するものである。

4. 請求の範囲28乃至33に記載の発明の群の特別な技術的特徴は、第1面の縮小像を第2面に形成する反射屈折型の投影光学系において、前記第1面と前記第2面との間の光路中に配置されて正の屈折力を有する第1群と、前記第1群と前記第2面との間の光路中に配置されて少なくとも4つのミラーを含む第2群と、前記第2群と前記第2面との間の光路中に配置されて少なくとも2つの負レンズを含み、負の屈折力を有する第3群と、前記第3群と前記第2面との間の光路中に配置されて、少なくとも3つの正レンズを含み、正の屈折力を有する第4群とを備え、前記第2群中に1つの中間像が形成され、前記第4群中に開口絞りが備えられている点に関するものである。

5. 請求の範囲34乃至42に記載の発明の群の特別な技術的特徴は、第1面の縮小像を第2面に形成する反射屈折型の投影光学系において、少なくとも6つのミラーを含み、前記第1面と第1中間像及び第2中間像を形成する第1結像光学系と、前記第2中間像を前記第2面上のリレーする第2結像光学系とを備える点に関するものである。

また、請求の範囲43乃至48に記載の発明は、上記発明の群1乃至5のいずれかを引用する従属形式の請求の範囲の発明である。

しかしながら、反射屈折型の投影光学系自体は特に例示するまでもなく従来から知られている技術である。

したがって、上記発明の群同士は、PCT規則13.2、第2文の意味において特別な技術的特徴と考えられる共通事項は存在してなく、前記発明の群同士は、単一の一般的発明概念を形成する連関している一群の発明であるとはいえない。

したがって、前記発明の群同士は、単一性を満足する関係であるとはいえない。